Aus der Prothetischen Abteilung (Leiter: Prof.Dr.H.Kirsten)
der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten (Direktor: Prof.Dr.med.Dr.med.dent.E.Harndt)
der Freien Universität Berlin

Vergleichende Untersuchungen über das Volumenverhalten von Einbettmassen unter besonderer Berücksichtigung der hygroskopischen Einbettmethode

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

an der

Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Peter Hönig
aus Gera

1968

Aus der Prothetischen Abteilung (Leiter: Prof.Dr.H.Kirsten)
der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten (Direktor: Prof.Dr.med.Dr.med.dent.E.Harndt)
der Freien Universität Berlin

Vergleichende Untersuchungen über das Volumenverhalten von Einbettmassen unter besonderer Berücksichtigung der hygroskopischen Einbettmethode

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

an der

Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Peter Hönig
aus Gera

Dekan: Professor Dr.med.Hans Heinz N a u m a n n

Referent: Professor Dr.med.dent. Hermann K i r s t e n

Korreferent: Professor Dr.med.dent.Werner Hielscher

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 26. 11. 1968

I N H A L T S A N G A B E

Seite

I. Einleitung..... 1

II. Theoretische Vorbetrachtung (Literatur-
übersicht)
A. Wachs..... 3
B. Einbettmassen
1. Thermische Expansion..... 5
2. Abbindeexpansion..... 8
3. Hygroskopische Expansion
3,1 Theorien.....10
3,2 Beeinflussung.....14
3,3 Methoden.....16
3,4 Kritik.....18

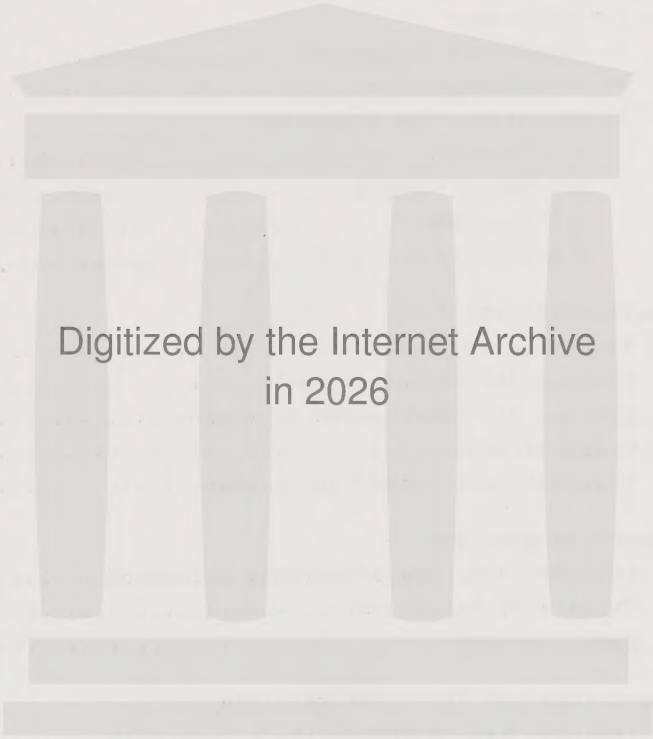
III. Experimenteller Teil
A. Versuchsplanung.....23
B. Messung der Abbindeexpansion.....23
C. Messung der thermischen Expansion.....26
D. Modellversuch.....27
E. Physikalische Herstellerangaben.....32

IV. Versuchsergebnisse
A. Abbinde- bzw. hygroskopische Expansion.....34
B. Thermische Expansion.....36
C. Modellversuch.....40

V. Auswertung der Versuchsergebnisse
A. Abbinde- bzw. hygroskopische Expansion.....59
B. Thermische Expansion.....60
C. Modellversuch.....62
D. Vergleich der Expansionsergebnisse mit
denen der Gußversuche.....65

VI. Zusammenfassung.....66

VII. Literaturverzeichnis.....68


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552705_0051

I. Einleitung

Seit Einführung des zahnärztlichen Gußverfahrens durch Taggart (1907) taucht immer wieder die Frage auf, ob es möglich ist, einen Präzisionsguß herzustellen, der den klinischen Anforderungen gerecht wird. Viele Verfahren sind erprobt worden. Aus ihrer Vielzahl ist zu ersehen, daß eine allen Ansprüchen genügende Genauigkeit noch nicht erreicht zu sein scheint.

Da die zahnärztlichen Gußobjekte keine streng geometrischen Formen darstellen - man beachte die z.B. vielfältigen Variationsmöglichkeiten einer dreiflächigen Gußfüllung -, ist eine vollständige Kompensation der Metallkontraktion durch genaue Berechnung des Schwindmaßes der Gußobjekte, wie sie in der technischen Gießerei möglich ist, nicht gegeben (79). Die aus dieser Erkenntnis folgernde Frage lautet daher: Innerhalb welcher Fehlergrenzen kann in der zahnärztlichen Praxis gearbeitet werden? Diese Frage kann nicht generell beantwortet werden, da die in ihrer Form sehr unterschiedlichen zahntechnischen Gußarbeiten auch unterschiedliche Anforderungen an die Größenordnung der Kompensation der Metallkontraktion stellen. Ganz allgemein könnte man lediglich aussagen: Ein Gußstück, das in all seinen Dimensionen den Präparationsflächen des Zahnes 100%-ig anliegt (absolute Paßgenauigkeit) ist wertlos! Sollte es in die Kavität passen, was schon wegen der Oberflächenrauhigkeit unmöglich sein wird - WEIKART (108) gibt sie mit ca. 5μ, HEHRING (37) zwischen 4μ (unter Verwendung eines FIS-Diamanten) und 1μ (einer mit einem Finierer geglätteten Kavität) an -, so läßt es "sich nicht einzementieren, ohne dadurch seinen exakten Sitz, seine Präzision, zu verlieren" (108). Der für die Zementschicht erforderliche Spalt muß in Abhängigkeit von der Zementkorngröße nach WEIKART (108) und FUSAYAMA (27) in der Größenordnung von 20 - 30μ, von 20 - 40μ nach DEUTGEN (15) liegen.

Es sind also bei einem zahnärztlichen Gußobjekt bestimmte Dimensionsänderungen erforderlich, die, wie das Beispiel eines doppelapproximalen Inlays zeigt, an ein und demselben Gußobjekt sowohl eine Volumenminderung als eine Volumenvergrößerung bedingen können. Hier zeigt sich, daß im Bereich des in die Kavität versenkten occlusalen Anteils eine Kontraktion, im cervicalen, approximalen Raum dagegen eine geringe Expansion erforderlich ist. Lediglich im Bereich der "Federränder" eines Inlays ist eine absolute Paßgenauigkeit wünschenswert, ebenso wie eine Krone subgingival dem präparierten Zahnstumpf genau anliegen soll. So ergibt sich nach JOERGENSEN (44) rechnerisch ein zulässiger Gußfehler von -1 bis -2 %lin. für einflächige Einlagefüllungen und für Sattelinlays bei einem Konvergenzwinkel der approximalen Wände von 10 - 15° ein zulässiger Gußfehler von 0,1 bis 0,2 %lin. HEHRING (36) sieht noch einen Gußfehler von -0,5 %lin. bei doppelapproximalen Inlays und Gußkronen mit cervicaler Stufe für tragbar an. Gußkronen ohne cervicale Stufenpräparation und Halbkronen müssen eine klinische Genauigkeit von $\pm$0,4 %lin. aufweisen (36, 44). Je kleiner der Präparationswinkel und je größer das Gußobjekt sind, desto größere Genauigkeit muß der Guß zeigen.

Um die zahnärztlichen Gußarbeiten in den obengenannten Grenzen herzustellen, sind die vielen Eigenschaften der verwendeten Materialien zu beachten. Es sind nicht nur die Volumenänderungen der Wachsmodelle und der Modellwerkstoffe auszugleichen, sondern auch die feste Schwindung der Metall-Legierungen, die durch den Ausdehnungskoeffizienten physikalisch bedingt ist. Je nach verarbeiteter Goldlegierung liegt deren Kontraktion (feste Schwindung) zwischen 1,25 und 1,82 %lin. (2, 8, 11, 25, 71, 78, 81, 106), die nach Untersuchungen von ROHRBACH (81) bei plötzlichem Abkühlen sogar einen zusätzlichen Schwund von 1 %lin. erhalten soll.

II. Theoretische Vorbetrachtungen (Literaturübersicht)

A. Wachs

Unter Ausklammerung der möglichen Fehler, die in der indirekten Herstellungsweise durch Abdruck- und Modellmaterialien entstehen können, sei zunächst auf die Veränderungen des zu modellierenden Gußwachses hingewiesen.

Das Gußwachs unterliegt während seiner Verarbeitung nicht nur thermischen Expansions- und Kontraktionsvorgängen, sondern es verändert seine Form nach der Bearbeitung im Sinne einer Distorsion, die durch Freiwerden innerer Spannungen bedingt ist. Die Größenordnung aller dieser Änderungen schwankt innerhalb verschiedener Wachssorten. Damit sind auch die angegebenen unterschiedlichen Kontraktionswerte bei den einzelnen Autoren zu erklären. So rechnet JOERGENSEN (44) bei der direkten Inlayherstellung mit einem Schrumpfmaß des Gußwachses von 0,5 - 0,6 %lin., OETTINGER (71) mit 0,5 %lin., COY (12) und BEECK (5) mit 0,8 - 1,0 %lin., während NELKE (70) mit 1,2 %lin. die größte Kontraktion angibt. Diese Schrumpfung des Gußwachses ist durch die Abkühlung des modellierten Wachsinlays von Mundtemperatur (37°C) auf Zimmertemperatur (20°C) bedingt.

Ferner ist zu bedenken, daß bei der Verarbeitung elastische Kräfte in das Wachs gelangen, die nach Abheben des zu gießenden Objekts vom Modell frei werden und zu Verziehungen der modellierten Wachsform führen. Inwieweit solche Distorsionen vermieden bzw. verringert werden können, darüber gehen die Meinungen auseinander.

HARNDT (35), MAVES (65) und SOLBRIG (96) glauben durch Verflüssigung des Wachses bei der Verarbeitung geringste latente Elastizitätsspannungen zu erzeugen.

Dem gegenüber vertreten PHILLIPS und BRIGGS (75) u.a. (4, 7, 9, 27, 36, 44, 53, 70, 104, 114) die Meinung, daß geringste innere Spannungen hervorgerufen werden, wenn das

Wachs indirekt und gleichmäßig bei einer Temperatur von 70°C erweicht und in die Kavität eingepreßt wird, sofern man es anschließend unter Druck erkalten läßt. KRÄUTLE (53) zeigt, daß solchermaßen behandeltes Wachs die geringste Schwankungsbreite im cervicalen Abschluß eines MOD-Inlays aufweist. FUSAYAMA (27) fordert anhand ähnlicher Versuche die Verwendung von Paraffinwachs, welches eine geringere Differenz zwischen Verarbeitungs- und Kavitätentemperatur als herkömmliche Inlaywachse besitzt. Gleichfalls empfehlen KRÄUTLE (53) wie JOERGENSEN (44), FUSAYAMA (27) und PHILLIPS (75) ein sofortiges Einbetten des Wachsmodells nach dem Modellieren unter Ablehnung einer hygroskopischen Behandlung der Einbettmasse, da gerade diese Methode das Freiwerden vorhandener latenter Spannungen begünstigt und zu einer Verziehung des Wachsmodells im Sinne einer Kontraktion führt. FUSAYAMA (27) zeigt, daß selbst unter Anwendung von Paraffinwachs eine Wachsmodellveränderung stattfindet, insignifikant nach 30 Minuten, signifikant aber nach 24 Stunden. Auf jeden Fall sollten geformte Wachsteile bei niedriger Temperatur (unter Zimmertemperatur) aufbewahrt werden.

Ein wiederholtes Schmelzen des in die Kavität eingebrachten Wachses zur Vermeidung latenter Spannungen, wie es von HARNDT (35) und SOLBRIG (96) empfohlen wird, erhöht durch Überschreiten der Verarbeitungstemperatur die Schrumpfung der Wachsmodelle (44) derart, daß "eine exakte Paßform des Gußstückes nicht mehr gewährleistet" (53) ist. Als Begründung wird angeführt: Geschmolzenes Wachs verliert durch Verbrennen einiger niedrig schmelzender Bestandteile seine Verarbeitungsfähigkeit. Der thermische Expansionskoeffizient steigt an (98).

Aus diesen Feststellungen muß gefolgert werden, daß auch eine Expansion des Wachsmodelles durch nachträgliche Erwärmung, wie HORN (103) und in Abänderung RICE (80), LEWALD (56), LEFKOWITS (57) und LINDBLOM (58) sie empfah-

len, als Kompensationsmittel für die feste Schwindung der Metall-Legierungen zu unsicheren Resultaten führt und abzulehnen ist. Anhand von Schattenrissen solchermaßen behandelter Wachsmodelle weist MAVES (65) nach, daß es anstelle einer Expansion zu Deformierungen des Wachses kommt. Er meint, es wäre praktischer, in die heiße Form zu gießen, als sich zu sehr auf die Expansion von Wachsmodellen zu verlassen, die sich verziehen. Zum gleichen Ergebnis kommt auch COY (11).

B. Einbettmassen

Sieht man von der Kompensation der festen Schwindung mithilfe entsprechender Abform- und Modellmaterialien in der indirekten Arbeitsweise ab, so bleibt nach dem heutigen Stand der zahnärztlichen Gußtechnik als eigentlicher Kompensationsfaktor die Ausnutzung der Volumenänderung der Einbettmassen. Bei diesen Volumenänderungen unterscheidet man:

a) die Abbindeexpansion (Kaltexpansion) einschließlich ihrer Abänderung durch hygroskopische Maßnahmen,
b) die thermische Expansion.

Beide Expansionsmöglichkeiten sind nicht voneinander zu trennen; die eine oder die andere wird bevorzugt bzw. abgelehnt. Alle Manipulationen, die die Einbettmasse betreffen, wirken auf beide Expansionsarten.

1. Thermische Expansion

Die thermische Expansion einer calciumsulfatgebundenen Einbettmasse ist durch den spezifischen Ausdehnungskoeffizienten der in ihr enthaltenen Substanzen bedingt. Es sind dies:

Gips-Halbhydrat
Quarz, bzw. seine Modifikationen Cristobalit und Tridymit
expansionssteigernde Zusätze

den Abbindevorgang hemmende oder beschleunigende Zusätze.

Der abgebundene Gips ($CaSO_4 \cdot 2\ H_2O$) zeigt bei einer Temperatur von 180°C eine Expansion von ca. 0,2 %lin. Bei weiterer Erwärmung kontrahiert er durch Austritt des freien Wassers und eines Teiles des Kristallwassers. Diese thermische Kontraktion kann durch Zugabe von Borsäure (110) oder Natriumchlorid (66) vermindert werden. Beginnend bei etwa 800°C wird der Gips unter Freiwerden von Schwefeldioxyd zersetzt. Das Vorwärmen der Einbettmasseform vor dem Guß soll daher bei calciumsulfatgebundenen Einbettmassen nur bei Temperaturen bis 750°C erfolgen.

Bei dieser Temperatur zeigt Quarz eine thermische Expansion von 1,25 %lin. Diese Volumenzunahme ist durch eine Änderung der Kristallgitterstruktur bedingt, hervorgerufen durch Verschiebungen der Sauerstoffvalenzen (51).

Die Expansionskurven von cristobalithaltigen Einbettmassen zeigen im Temperaturbereich zwischen 200°C und 270°C einen sehr starken Anstieg. Das große Expansionsvermögen in diesem niedrigen Temperaturbereich wird durch die Umlagerung von ß-Cristobalit in seine a-Form erklärt (39).

Die Wärmeausdehnung einer Einbettmasse ist weiterhin von dem Wasser/Pulver-Mischungsverhältnis abhängig. Je größer der Wasseranteil, um so geringer ist die Warmexpansion (80, 84, 86, 100), da durch vermehrten Flüssigkeitsanteil die Kristallstruktur der Einbettmasse aufgelockert wird. So läßt nach WENZEL (112) ein 40%-iger Wasserüberschuß den Expansionswert eines Gips-Sand-Gemisches = 1 : 3 bei 575°C von 0,4 % auf 0,13 %, also um 67 % sinken. DIANA (16) gibt an, daß ein 12,5%-iger Wasserüberschuß eine 30%-ige Verschlechterung der thermischen Expansion bewirkt. Ähnliche Werte veröffentlicht VOLLAND (105): Bei einem Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 3 : 10 ergibt sich eine thermische Expansion von 0,9 %. Erhöht sich der Quotient auf 4 : 10, so resultiert eine Wärmeausdehnung

von 0,7 %, die auf 0,55 % bei W : P = 5 : 10 absinkt.

Als weiterer Nachteil einer zu dünn angemischten Einbettmasse ist neben verminderter Härte (77) eine größere Rauheit der Gußoberfläche zu nennen (52, 76).

Schaltet man in der zahntechnischen Praxis diese Fehlerquellen aus, kann man bei den meisten Einbettmassen mit einer thermischen Expansion von über 1 %lin. rechnen. Wegen dieses hohen Expansionswertes muß bei Verwendung eines Eisenringes als Muffel zwischen diesen und der Einbettmasse ein Polster vorhanden sein. Ein Eisenring zeigt bei einer Temperatur von 750°C eine lineare Ausdehnung von 0,96 % und engt somit das Expansionsbestreben der Einbettmasse ein. JOERGENSEN (46), BUCK (9) und FLAUMENHAFT (25) verzichten auf einen starren Gußring und verwenden statt dessen Papierzylinder. Wegen des größeren Ausdehnungskoeffizienten benutzt GERLACH (28) eine Kupfermuffel, KLUMPP (50) plädiert für Messing als Gußringmaterial. FABIAN (22) versieht einen Metallzylinder in Höhe der Gußform an vier gegenüberliegenden Stellen mit kreisrunden Fenstern. OETTINGER (71) bestreicht die Innenfläche der Muffel mit technischer Vaseline.

Die Verwendung eines angefeuchteten Asbeststreifens als Einlagematerial, wie APPEL (2), JACOB (43), TAYLOR (102), DEGUSSA (104) und ZÄHRINGER (114) empfehlen, lehnen FUSAYAMA (27) und FEINMANN (23) mit der Begründung einer hygroskopischen Expansion ab. FUSAYAMA (27) empfiehlt trockenen, eingefetteten Asbest.

SCHWINDLING (91), der zu diesem Zweck Fließpapier verwendet und dem er beste Oberflächenergebnisse der Güsse zuschreibt, begründet zusätzlich zur ungehinderten thermischen Expansion die Auskleidung: "Die Wasserdampfaustreibung erfolgt an allen Flächen des Einbettmassezylinders".

In der Spezifikation Nr. 2 der AMERICAN DENTAL ASSOCIATION (1) sind u.a. die die thermische Expansion betref-

fenden Forderungen definiert, die an eine Einbettmasse gestellt werden:

1. Das Material muß hitzebeständig sein und darf nicht bersten.
2. Das Material darf keine verschmutzende Wirkung auf die Gußlegierung haben und sollte weder Oberflächenrauhigkeit noch Lunkerformation des Gusses bewirken.
3. Beim Erhitzen darf die Einbettungsmasse keine giftigen oder abstoßenden Gerüche abgeben.
4. Die Wärmeexpansion sollte bei 700°C mindestens 0,7 %lin. sein.
5. Bei keiner Temperatur über 200°C darf eine Kontraktion resultieren. Bei weniger als 200°C darf die Kontraktion nie mehr als 0,15 %lin. betragen.

2. Abbindeexpansion

Beim Erstarren der Einbettmasse kommt es zu einer Volumenänderung im Sinne einer Expansion, verursacht durch die Hydration des Gips-Halbhydrates (20). "Man erklärt dies mit einem Quellen des Skeletts der porösen Massen bei der Kristallbildung"(20). JOERGENSENs Theorie (47) nimmt an, daß "die Expansion auf thermodynamischen Bewegungen in den Grenzflächen zwischen zusammengewachsenen Gipskristallen zurückzuführen ist; solche Bewegungen können eine Diffusion von Molekeln und Ionen in das weniger regelmäßige Grenzflächengitter hinein mit sich führen und so dasselbe expandieren". Diese positiv gerichtete Volumenbewegung, auch Kristallisationsexpansion (97) bezeichnet, wird als Abbinde-, Erstarrungs- oder Kaltexpansion bezeichnet (32). Sie schwankt in der Regel zwischen 0,1 und 0,45 %lin., aber sie kann auch auf 1,1 %lin. ansteigen (20, 21, 67, 85).

Solche hohen Abbindeexpansionswerte werden von FUSAYAMA (27), GERLACH (31), HEHRING (38), KRÄUTLE (53), MUMFORD (68) und SKINNER (93) wegen Verzerrungen des Wachs-

modells abgelehnt.

Bereits 1934 äußerte sich GERLACH (31) kritisch zur Kaltexpansion: "Im Mittelpunkt der Einbettmasse befindet sich das Wachsmodell als fester Körper, der der seitlichen Expansion der Masse zwischen den Schenkeln (gemeint ist ein MOD-Inlay), wenn das Modell groß und widerstandsfähig genug ist, einen Widerstand entgegensetzt. Dann aber kann sich die Abbindeexpansion an dieser Stelle nach keiner Richtung hin entfalten. Sind die Wachsschenkel zu schwach, dann wäre es denkbar, daß diese nachgeben, das Modell also bereits vor dem Guß deformiert würde. Doch wird es nunmehr klar, warum die im Grunde angestrebte Vergrößerung des Modellhohlraumes entlang den inneren Schenkelflächen ausbleiben mußte. Im Augenblick, wo gegossen wird, steht dieser Raum - zumal wenn die Quarzmasse eine ungenügende Wärmeexpansion besitzt, praktisch schon unter Schwindungserscheinungen, sodaß das Gußstück nach dieser Richtung hin volumenvergrößert wird. Solche Sattelfüllungen zeigen beim Aufschieben Klemmwirkung, sie werden, volumetrisch gemessen, natürlich eine Expansion des gesamten Gußstückes vortäuschen. - Bei der Wärmeexpansion sind die Verhältnisse insofern anders, als sich innerhalb der umgebenden Einbettmasse ein Hohlraum befindet, in den hinein der Kern beim Erhitzen expandieren kann. Je nachdem dieser Kern mehr oder weniger verstärkt ist, expandiert er mehr oder minder stark. Das kann bei starker Expansion zu einer Verminderung der Schenkelstärke führen. Ein Sattelinlay dieser Art zeigt keine Klemmwirkung. Ja, es kann sogar, wenn die Masse an dieser Stelle zu dick aufgetragen war, zu einer übermäßigen Expansion führen, sodaß das Inlay zu weit wird".

Die Abbindeexpansion kann zu einem gewissen Grade korrigiert werden, da sie von verschiedenen Faktoren abhängig ist:

1. Je kürzer die Anrührzeit, desto geringere Expan-

sion (20).

2. Je langsamer der Abbindevorgang, desto größer die Expansion (20).
3. Vermehrte Zugabe von Anrührwasser führt durch Vergrößerung des Porenraumes, bzw. Verringerung des Gipsgehaltes zu geringerer Kaltexpansion (20, 21).
4. Durch die Vacuumeinbettung wird die Abbindeexpansion verkleinert (77).

3. Hygroskopische Expansion

3,1 Theorien der hygroskopischen Expansion

Eine vergrößerte Abbindeexpansion des Gipses durch Aufnahme von Luftfeuchtigkeit beobachtete schon WILSON 1920 (113). Gleiche Beobachtung machte 1932 SCHEU (86) und nannte dieses Phänomen "hygroskopische Expansion". Er stellte fest:

1. "Wenn man einen Block Einbettmasse auf eine Glasplatte legt, erhält man dank der Luftfeuchtigkeit in 30 Minuten eine Expansion von 0,1 % und in 60 Minuten von 0,25 %.
2. Wenn der Block auf trockenen Asbest gelegt wird, ändern sich die entsprechenden Werte von 0,3 - 0,4 % und 0,5 - 0,8 %. Diese Volumenzunahme wird dadurch veranlaßt, daß der Asbest während der Erhärtung der Einbettungsmasse Wasser aufgenommen hat, das er später an den Block wieder abgibt.
3. Wenn der Block auf eine Platte mit feuchten Asbest gelegt wird, ergeben sich folgende Werte: 0,6 - 0,9 % und 1,0 - 1,3 %, also eine beinahe ideale Ausdehnung bei gewöhnlicher Temperatur".

Er führt weiter aus: "Die neue Expansionstechnik beruht auf der Kristallwasseraufnahme des Gipses, dadurch daß man die abgebundene Einbettmasse (10 Minuten nach Beginn des

Anrührens) mit dem Wachsmodell mindestens 20 Minuten lang in warmes Wasser von 100°F (37°) legt, wodurch sie bis zu 2,2 % expandiert".

Zur Klärung des Phänomens der hygroskopischen Expansion sind viele Theorien aufgestellt worden, ohne daß ein endgültiger wissenschaftlicher Beweis erbracht wurde.

DEGNI (13) meint, daß zugegebenes Wasser aufgesaugt wird und eine Schwellung des Gipsgels bewirkt, welches sich bei der Reaktion Wasser und Halbhydrat bildet. Er führt aus: "Alle Einbettmassen bestehen zu 30 % aus Gips, zu 65 % aus Silicium. Der gebrannte Gips ist das Halbhydrat des Gipses: $CaSO_4 \cdot 1/2\ H_2O$. Wenn dieses Halbhydrat mit Wasser vermischt wird, entsteht das Dihydrat ($CaSO_4 \cdot 2\ H_2O$). Das Wasser wird als Kristallwasser gebunden. Während Gips mit Wasser vermischt wird, entstehen nahezu gesättigte Lösungen von Halbhydrat und übersättigte Lösungen von Dihydrat. Fällt Dihydrat schnell aus, wird mehr Halbhydrat gelöst, und die Kristallisation geht weiter. Dieser Lösungsprozeß und die Kristallisation dauern so lange, bis die gefällten Kristalle sich so gebunden haben, daß Festigkeit entsteht. Eine geringe Expansion ist immer vorhanden. Diese beruht auf dem kristallinen Wachstum des ausfallenden Gipses und manifestiert sich in poröser Struktur bei Volumenvergrößerung. - Gips allein hat eine hygroskopische Expansion von nur 0,04 - 0,06 %. Inerte Substanzen, wie Silicium, Eisen, Talcum erhöhen die Expansion. Das Wasser wird während des Hartwerdens hinzugefügt, so daß es alle Teile der Masse durchdringen kann. Die hygroskopische Expansion beruht nun auf einem verstärkten Kristallwachstum, welches durch eine längere Dauer des Abbindevorganges ermöglicht wird. Je mehr Dihydrat entsteht, umso größer ist die Expansion. Man versucht deshalb, Stoffe in die Einbettmasse zu geben, die die Erhärtung verlangsamen sollen, um dadurch den Kristallisationsprozeß zu verlängern".

LYON (61) schließt sich DEGNIs Theorie an und nimmt an,

"daß die hygroskopische Expansion zahnärztlicher Einbettmassen eine Fortsetzung der normalen Abbindeexpansion während einer Phase darstellt, in der sich die Einbettmasse in einem halberstarrten Zustand befindet. Diese fortgesetzte Expansion kommt dadurch zustande, daß das Einbringen des zusätzlichen Wassers eine weitere Hydration des Calciumsulfates während dieser Phase erlaubt. Der in der Einbettmasse vorhandene inerte Füller schwächt ihr Gefüge und gestattet den ausfallenden Hydratkristallen die Masse des Materials auszudehnen".

JOERGENSEN (45) schreibt, "zugegebenes Wasser verhindert die Austrocknung der interkristallinen Räume, welches andererseits eine Ausfällung von Gipskristallen an Stellen bewirken würde, an denen keine Expansion stattfindet".

RYGE und FAIRHURST (82) finden, "Flüssigkeiten außer Wasser wie Glycerin, Alkohol, Transformeröl etc. bewirken hygroskopische Expansion, wenn sie am Beginn des Abbindeprozesses zugefügt werden. Untersuchungen der Hydration des Calciumsulfates, der Halbhydrate und der Einbettmassen mit Röntgenbeugung zeigen, daß die am Ende gezeigten Ergebnisse die gleichen sind, obwohl das Hydratationsausmaß der normalen und der hygroskopischen Expansion verschieden ist. Dies ändert sich auch dann nicht, wenn die zugesetzte Flüssigkeit Wasser oder eine andere ist. - Durch Kapillaritätswirkung wird der Flüssigkeitsüberschuß in die winzigen Zwischenräume eingesogen, welche sich in der Einbettmasse während des Kristallisationsvorganges bilden. Die Flüssigkeit vergrößert die Dicke des Oberflächenbelages sowohl der Füllungsstoffe als auch der Gipskristalle. Durch diese zunehmende Dicke werden die Kristalle auseinander gedrängt, was die Expansion der halbfesten Masse zur Folge hat. Die Kristallbildung geht wie bei gewöhnlichen Abbindebedingungen mit dem einzigen Unterschied weiter, daß wegen des vergrösserten interkristallinen Abstandes sich der Verkeilungseffekt der einzelnen Kristalle weniger auswirkt. Je größer die

Oberflächenspannung der Flüssigkeit ist, umso dicker ist der Oberflächenbelag und umso größer die Expansion. - Röntgenbeugung und Bestimmung der räumlichen Veränderung zeigen, daß die hygroskopische Expansion vor der nromalen Abbindeexpansion stattfindet. Diese Variation in der hygroskopischen Expansion, wie sie verschiedene Flüssigkeiten zeigen, kann als Folge der verschiedenen Oberflächenspannung und Viskosität der Flüssigkeiten und ihre Wirkung auf die Löslichkeit und das Kristallverhalten erklärt werden. - Während unter gewöhnlichen Bedingungen Luft (infolge einer Volumenverringerung auf Grund der Hydrationsreaktion (83)) in die Kapillarräume eingesogen wird, verhindert die bedeckende Flüssigkeit unter hygroskopischen Bedingungen diese Luftabsorption und erlaubt zudem die Aufnahme von Flüssigkeiten als Gleitmittel".

Auch FUSAYAMA (26) befürwortet die Kapillartheorie: "Zugegebenes Wasser (oder andere Flüssigkeiten) wird in die Füllräume, die durch die Anfangsexpansion zustande kamen, hineingezogen. Diese Flüssigkeit stützt den Raum wie ein Füllmaterial und hilft den Kristallenden weiter zu wachsen. Auf diese Weise erleichtert die Gegenwart eines zugegebenen Füllmaterials dieser Natur die Expansion und macht sie frühzeitiger und größer".

MAHLER und MOFFITT (63) behaupten, daß die Oberflächenspannung des Anrührwassers für die hygroskopische Expansion ausschlaggebend sei: "Jüngste Ergebnisse unterstützen die Annahme, daß die hygroskopische Expansion der zahntechnischen Gipse im wesentlichen eine Abbindeexpansion ist, wie sie die Gipskristalle einer übersättigten Lösung zeigen. Hätte diese Voraussetzung ihre volle Gültigkeit, so ist die Definition der hygroskopischen Expansion ausschließlich davon abhängig, daß man die Rolle des zugefügten Wassers zu dem sich abbindenden Material untersucht. - Es wurde die Theorie aufgestellt, daß die Abnahme der wässrigen Phase in der Abbindeexpansion eine kompressive Kraft auf die wachsen-

den Kristalle ausübt und ihr Wachstum dadurch hemmt. - Gibt man während des Abbindens Wasser zu, so wird die wässrige Phase verlängert, die kompressive Kraft herabgesetzt und dadurch eine viel größere Expansion erreicht. Ein ähnlicher Effekt sollte dadurch erreicht werden, indem die Oberflächenspannung des Anrührwassers (ohne jegliche Wasserzufuhr während des Abbindens) herabgesetzt wird, da dies die kompressive Kraft auf die Teilchen vermindert. Mit Netzmitteln, die zur Herabsetzung der Oberflächenspannung dem Anrührwasser zugefügt wurden, konnte man eine größere Expansion als die der normalen Abbindeexpansion verzeichnen. Eine gegenseitige Abhängigkeit zwischen der vermehrten Abbindeexpansion und der Oberflächenspannung des Anrührwassers wurde damit demonstriert und trägt daher zur Stützung der obig erwähnten Annahmen bei".

Aber nicht nur calciumsulfatgebundene Einbettmassen zeigen eine Abbindeexpansion bzw. hygroskopische Expansion, sondern, wie SHELL (92) demonstriert, auch phosphatgebundene, wie sie in der Modellgußtechnik für Chrom-Kobalt-Güsse verwendet werden. Die von SHELL verwendete Einbettmasse zeigt eine Abbindeexpansion von 0,15 %lin. und eine hygroskopische Expansion von 0,85 %lin.

3,2 Beeinflussung der hygroskopischen Expansion

Die hygroskopische Expansion läßt sich durch die gleichen Manipulationen wie die Abbindeexpansion steuern (s.S.9 f.). Ein geringes Wasser/Pulver-Verhältnis führt ebenso zu einer Vergrößerung der hygroskopischen Expansion (87, 100) wie vermehrter Quarzgehalt in der Einbettmasse (62, 13). Verwendet man statt des üblichen Gipses (ß-Halbhydrat) Hydrocal (a-Halbhydrat), so erhält man eine stärkere hygroskopische Expansion (13, 62). Wie die Abbindeexpansion wird die hygroskopische Expansion durch verlängerte Abbindezeit vergrößert (14), während mechanisches Anmischen der Einbettungsmasse ihren Expansionswert sinken läßt (69, 86).

Der gleiche Effekt wird auch durch Evacuierung erzielt (24). - Frühzeitiges Einbringen der Einbettmasse in das Wasserbad bewirkt erhöhte hygroskopische Expansion (19, 41, 54, 87, 100). Dieses Verfahren benutzt PEYTON (73), um durch "kontrollierte Wasserzugabe" die Expansion zu steuern.

Über die Temperatur des Wasserbades gehen die Meinungen auseinander: SCHEU (87), GERLACH (29), LEFKOWITS (57) und LANDGREN (54) erzielen durch erhöhte Wasserbadtemperatur (37°C) größere hygroskopische Expansion. Die Expansionszunahme könnte durch Verringerung der Viskosität des Wassers mit Zunahme seiner Temperatur erklärt werden (83). GERLACH (32) dagegen bezeichnet den Temperatureinfluß als gering, und JOERGENSEN (44) bestreitet überhaupt eine vermehrte hygroskopische Expansion zu erhalten. Dieser Auffassung schließt sich TAEGE (100) an.

Ebenso wie bei der thermischen Expansion ist es unbedingt erforderlich, die Volumenänderung der abbindenden Einbettmasse nicht zu behindern. So schreibt OETTINGER (71): "Es ist Grundbedingung und Voraussetzung, daß die Einbettmasse weder bei der Abbindung noch bei der Erwärmung gehindert werden darf, ihre Expansionsfähigkeit zur Entfaltung und Auswirkung zu bringen". Soll die peripher des eingebetteten Wachsmodells gerichtete Expansion (PRICE, zit. bei NELKE (71)) nicht ins Gegenteil umschlagen, so muß zwischen dem starren Gußring und der sich versteifenden Einbettmasse ein Polster vorhanden sein. So verwendet HAN SIONG (34) Muffeln aus Papier und WEISS (111) benutzt als Auskleidung für diesen Zweck mehrere Lagen von Krepp-Papier. GERLACH (32) empfiehlt zur Vermeidung der Expansionshemmung die Kerneinbettung. Auf die Wichtigkeit der totalen Auskleidung des Gußringes mit Asbest weist JOERGENSEN (44) hin. Er verwendet 1958 zur Vermeidung einer unterschiedlichen Expansion in radialer und longitudinaler Richtung Papiermuffeln (46). LINDERMANN (59) dagegen er-

hielt die besten Gußergebnisse, wenn die Wachsmodelle in Eisenmuffeln eingebettet wurden, die mit Fließpapier ausgekleidet waren.

3,3 Methoden der hygroskopischen Expansion

Das 1932 von LINDBLOM (58) beschriebene Wasserbadverfahren (40°C) sollte durch Expansion der Wachsmodelle zum Ausgleich der festen Schwindung der Metall-Legierungen beitragen.

Erst SCHEU (88) wies 1934 auf das Phänomen der hygroskopischen Expansion hin und empfahl folgende Einbettmethode: Nach Einbettung in eine mit trockenem Asbest ausgekleidete Muffel "taucht man nach stattgehabter Anfangsabbindung das (mit Einbettmasse) bedeckte Wachsmodell in Wasser von 100°F (37°C), dadurch dehnt sich die Einbettmasse aus. Der Umfang der Ausdehnung wird durch die Länge der Abbindezeit vor dem Eintauchen ins Wasser reguliert. Zur Expansion von 1,6 % taucht man nach 10 Minuten ins Wasser, zu der von 1,5 % nach 11 Minuten, zu der von 1,4 % nach 12 Minuten und zu der von 1,3 % nach 15 Minuten. Das eingebettete Modell bleibt mindestens 20 Minuten im Wasser, aber nicht länger als 30 Minuten". Der Guß erfolgt nach Vorwärmen der Muffel auf 450°C.

WEISS (111) und LEFKOWITS (57) verwenden bei der Scheu'schen Methode warmes Wasser zum Anrühren der Einbettmasse. COY (11) warnt vor Verwendung von warmen Anrührwasser, da dadurch ein Verziehen des Wachsmodells eventuell hervorgerufen werden kann.

Das KRISTOBALIT-VERFAHREN von KERR (23) geht von der Wasserbadmethode ab und verwendet zur "semihygroskopischen Expansion" unter Benutzung cristobalithaltiger Einbettmassen eine mit nassem Asbest ausgekleidete Muffel. FINKBEINER (24) schreibt der nassen Asbesteinlage eine stabi-

lisierende Wa...ung betreffs Kontraktionsausgleich und Schwankungsbreite der Ergebnisse zu. Dieses Verfahren verfeinerte PHILLIPS (74) durch unterschiedlichen Cristobalitanteil der Einbettmasse. Je nach Raumtemperatur und Form des Wachsmodells variiert er den der Einbettmasse zugegebenen Cristobalitanteil und steuert damit deren Expansion.

Bei der HOLLENBACK'schen Methode (40) wird das zu gießende Objekt mit mechanisch angemischter Einbettmasse im Vacuum eingebettet und unter Verwendung einer nassen Asbestauskleidung der Muffel anschließend für 30 Minuten in 37°C warmes Wasser eingebracht.

PEYTON (73) fand: "Die Größe der hygroskopischen Expansion einer Einbettmasse steht in direkter Beziehung zu der Wassermenge, die die Einbettmasse absorbiert, oder 'sinngemäß' zu der Wassermenge, die der Einbettmasse nach dem Mischen zugeführt wird. - Sich hygroskopisch ausdehnende Einbettmassen haben eine beschränkte Wasseraufnahmefähigkeit und ein beschränktes Expansionsvermögen. Diese Grenze wird als "kritischer Punkt" bezeichnet. Sein Wert ist abhängig vom Wasser/Pulver-Verhältnis, den Mischungsbedingungen und den natürlichen veränderlichen Faktoren der Einbettmasse. - Bei Zuführung einer entsprechend geringen Wassermenge beeinflussen Veränderungen im Wasser/Pulver-Verhältnis, Mischungsvorgang, Alter und Lieferung der Einbettmasse die Expansionswerte nur unwesentlich". Als Muffel verwendet PEYTON Gummizylinder ohne Asbestauskleidung. Der abbindenden Einbettmasse fügt er mit einer kallibrierten Spritze bestimmte Wassermengen zu, abhängig von der Größe des Gußstückes und von der verwendeten Einbettmasse.

Ein anderes Verfahren wendet JOERGENSEN (46) an: Er setzt die von einem Papierzylinder umgebene Gußform nach dem Abbinden der Einbettmasse nach einer bestimmten Zeit, die von der Art des Wachsmodells abhängig ist, in ein Wasserbad von 45 - 60°C.

Auch die noch heute vielfach angewandte Kerneinbettung, von der BOITEL (6) sagt, daß "sie im Zeitalter der Präzisions-Einbettmassen Nonsens ist", stellt eine Methode dar, die neben der durch Verdichtung der Einbettmasse erzielte gesteigerte thermische Expansion auch die hygroskopische Expansion ausnutzt. HOLST (41) bewies, daß eine erhebliche Vergrößerung der Abbindeexpansion auftritt, wenn sich im Abbinden befindende Einbettmasse oder Gips in Kontakt mit frisch angerührter Einbettmasse oder Gips kommt.

3,4 Kritische Betrachtungen zur hygroskopischen Expansion

Viele der angegebenen hygroskopischen Einbettverfahren sind kompliziert. Die meisten sind auf bestimmte Einbettmassen abgestimmt. Bei den Güssen ohne Muffel, bzw. bei Verwendung eines Papierzylinders besteht bei Anwendung cristobalithaltiger Einbettmassen die Gefahr, daß die Einbettmasse beim Vorwärmen reißt (44).

Die von LYON (62) bei der hygroskopischen Methode angenommene Durchdringung der abbindenden Einbettmasse mit Wasser infolge von Kapillärkräften konnte nach ANSKE und BEECK (5) nicht bestätigt werden. Nach deren Angaben dringt Methylenblau als echte Lösung bei der kontrollierten Wasserzugabe (73) nach 40 Minuten nur maximal 5,5 mm tief in die Einbettmasse ein. In weiteren Versuchen nach dem SCHEU'schen Verfahren (88) wurde statt des Wasserbades eine Eosinlösung verwendet. Die Penetration dieser Flüssigkeit in die Einbettmasse betrug nach 30 Minuten maximal 7 mm. Aus diesen Untersuchungen ist ersichtlich, daß der abbindenden Einbettmasse zugegebene Flüssigkeiten die Einbettmasse ungleichmäßig durchdringen. Eine gleichmäßige hygroskopische Expansion ist deshalb nicht zu erwarten. So treffen auch die schon bei der Abbindeexpansion geäußerten Bedenken hinsichtlich einer Verzerrung der Wachsform zu, da zwischen diesen

beiden Expansionsarten keine scharfe Trennung gezogen werden kann.

MUMFORD (68) stellt unter Verwendung einer experimentellen Einbettmasse mit einer Abbindeexpansion von 0,06 %lin. - die Einbettung erfolgte in einer Gummimuffel - eine Differenz zwischen dem occlusalen und cervicalen Anteil eines MOD-Inlays von 0,04 %lin. fest. Bei Anwendung einer cristobalithaltigen Einbettmasse mit nassem Asbest als Muffelauskleidung lag die Differenz bei 0,66 %lin. Unter kontrollierter Wasserzugabe betrug dieser Wert bei gleichem Einbettverfahren 0,74 %lin. und bei der Methode nach SCHEU 0,12 %lin. Die einzelnen Expansionswerte bzw. Kontraktionswerte sind in Tabelle 1 ersichtlich:

Methode	Kontraktion/ Expansion (%lin.) occlusal	Kontraktion/ Expansion (%lin.) cervical	Differenz (%lin.)
Cristobalit - nasses Asbest	+0,08	+0,74	0,66
Cristobalit - kontr.Wasserzugabe	+0,10	+0,84	0,74
Cristobalit - Warmwasserbad	+0,75	+0,87	0,12
Experimentelle Einbettmasse	-0,23	-0,19	0,04

Tab. 1

Zwar zeigen die Güsse bei Verwendung der experimentellen Einbettmasse eine geringe Kontraktion, aber auch nur eine sehr geringe Verzerrung.

Deformationen von u-förmigen Wachsmodellen demonstriert FUSAYAMA (27) an fotografisch hergestellten Umrissen eingebetteter Inlaymodelle (Abb.1):

A) Das Wachsmodell wird mit einer hygroskopischen Einbett-

masse eingebettet und für 2 Stunden in ein Wasserbad von Raumtemperatur gebracht.

B) Die gleiche Einbettmasse wird nicht hygroskopisch behandelt, sodaß nur ihre Abbindeexpansion von 0,4 %lin. resultiert.

C) Eine experimentelle Einbettmasse mit geringer Abbindeexpansion (0,02 %lin.) wird ohne Wasserbad verwendet.

Unter der Versuchsbedingung A) weichen die beiden freien Enden des Modells auseinander, deren Verbindungsteil wird verbogen (Abb. 1). Die Einbettmasse expandiert in peripherer Richtung des Wachsmodells, sodaß eine Spaltbildung erfolgt.

Bei der Methode B) entsteht ein ähnliches Bild, nur sind die Veränderungen kleiner (Abb. 1).

Keine Spaltbildung und nur geringe Verformung wurde bei geringer Abbindeexpansion (Methode C) gefunden (Abb. 1).

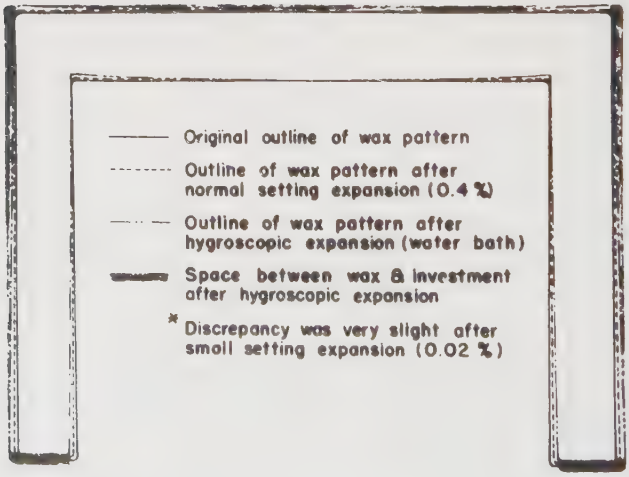


Abb. 1, Verzerrungen von Wachsmodellen durch die Abbindeexpansion (aus FUSAYAMA (27))

Welchen Einfluß hat nun die Temperatur des zum Anmischen der Einbettmasse verwendeten Wassers und die des Wasserbades?

LANGER (55) und TAEGE (100) behaupten, daß durch erhöhte Temperatur des Anrührwassers eine vergrößerte Kaltexpansion resultiert, diese aber zum "Auseinanderweichen der mesialen und distalen Wand der Füllung führt (55) und deshalb abzulehnen ist.

Der Temperatur des Wasserbades gleicht sich die Einbettmasse (Raumtemperatur) im Innern an. Nach 2 - 3 Minuten steigt sie im Zentrum um 6 - 8°C (30), nach 5 Minuten sei sie der des Wasserbades von 40°C gleich (59). - BEECK (4) erklärt, die Vergrößerung eines hygroskopisch eingebetteten Wachsmodells stelle infolge der Wasserbadtemperatur eine Form der Wärmeexpansion des Wachses dar. NARCISSE (69) wählt als günstigste Wasserbad-Temperatur 37 - 40°C, da in diesem Temperaturbereich das Wachs in der Einbettmasse leicht erweiche, wodurch Verzerrungen an den feinen Rändern der Einbettmasse verhindert würden. Gegenteiliger Meinung sind COY (12) und HEHRING (36). HEHRING (36): "Die 'hygroskopische Methode' läßt im Augenblick des Gusses nicht die nach SCHEU u.a. zu erwartende zusätzliche Expansion der Einbettmasse erkennen. Sie beeinflußt aber die Wachsform im Sinne der thermischen Expansion. Dadurch wird zwar ein vergrößertes, aber auch verzerrtes Gußstück erzielt".

Auch KLOSE (49) lehnt die Warmwasserbadexpansion ab, da dadurch innere Spannungen im Wachs freiwerden und zu einer Distorsion der Wachsform führen.

Zur Frage der Beeinflussung der thermischen Expansion durch eine vorangegangene hygroskopische Einbettung äußert sich KANTAKE (48): Er ist der Meinung, daß eine hygroskopische Behandlung der Einbettmasse sich auf deren thermische Expansion nicht auswirkt. Dem stehen die Aussagen von LUTZ (60) u.a. (4, 9, 36, 39, 99) entgegen. BUCK (9)

und HÖFER (39) erklären diesen Verlust der Wärmeausdehnung durch Austritt des freien Wassers und des Kristallwassers, wodurch eine Schrumpfung des Gipses einsetze. die von HÖFER (39) ermittelten Ergebnisse an 3 Einbettmassen sind in Tabelle 2 zusammengestellt:

Einbettmasse	Therm. Exp. (700°C) nach norm. Abb. (%lin.)	Therm. Exp. (700°C) nach hygr. Abb. (%lin.)
Articast	0,059	-0,031
Primotherm	0,425	0,103
Hohenbocka	0,470	0,343

Tab. 2

Betreffs der Oberflächenrauhigkeit eines Gusses ist zu sagen, daß sie durch die hygroskopischen Verfahren nicht beeinflußt wird (52, 76). HEHRING (37) dagegen hat eine um 9μ vergrößerte Rauhtiefe der Gußoberfläche bei hygroskopischer Einbettung im Vergleich zu vacuumeingebetteten Gußobjekten (4μ) gemessen. - Bei dem Guß in die auf nur 430 - 480°C vorgewärmte Muffel ("kalte Muffel") erscheint die Oberfläche durch eine Kornvergrößerung des Metalls rauher (76). Es bildet sich hierbei kein homogenes, feinkristallines Legierungsgefüge (5).

III. Experimenteller Teil

A. Versuchsplanung

1. Ziel der Arbeit ist es festzustellen, inwieweit sich Einbettmassen unter verschiedenen Abbindebedingungen verhalten.

2. Welchen Einfluß hat die Kaltexpansion auf die nachfolgende thermische Expansion der Einbettungsmassen?

3. Die so ermittelten Ergebnisse sollen mit denen praktischer Gußversuche verglichen werden.

B. Messung der Abbindeexpansion

Zur Messung der Abbindeexpansion wird von der AMERICAN DENTAL ASSOCIATION (1) ein Mikrokator-Mikroskop verwendet. Mit ihm wird die Entfernung zweier v-förmiger Markierungen einer 30 cm langen Probe in Abhängigkeit von der Konsistenzveränderung der Einbettmasse mittels einer Vikat-Nadel festgestellt. Zur Bestimmung der hygroskopischen Expansion erfolgt die Immersion 5 Minuten nach Beginn des Anrührens.

Praxisnäher arbeiten JOERGENSEN (44) und PRENZ (77), die mithilfe eines Mikrokators die Abbindeausdehnung der Einbettmasse in einem Gußring bzw. einer Papiermuffel bestimmen. Jedoch wirkt sich bei diesen Methoden das Eigengewicht des Messystems des Mikrokators auf die Expansion aus, wie JOERGENSEN (46) beschreibt.

Ähnliche Untersuchungen mit einem Mikrokator führten DELGADO (14), LANDGREN (54) und SKINNER (94) aus. Anstelle eines Papierzylinders bzw. eines starren Gußringes (44, 77) benutzt OSBORNE (72) eine Wachs- bzw. Hydrokolloid-Muffel.

Vertikale Messungen führte SHELL (92) bei Anwendung eines einfachen Behälters, bzw. eines starren Gußringes (17, 94) aus.

Mithilfe fotografischer Aufnahmen eines sich in vier Richtungen öffnenden Gußringes beobachtete ASGARZADEH (3) die durch die Abbindedehnung bedingte laterale Verschiebung der einzelnen Segmente. SCHUBERT (90) benutzt eine sich seitlich öffnende Küvette.

Rückschlüsse auf die Abbindeexpansion durch Messung in horizontaler Richtung geben COLEMAN (10), GOLDBERG (33), SHELL (92), SKINNER (93), SODEAU (95) und TAYLOR (101) an. WATTS (107) benutzt bei ähnlicher Versuchsanordnung einen Eisenring und RYGE (83) eine flexible Muffel.

Die Ausdehnung einer auf einer Quecksilber-Unterlage abbindenden Einbettmasse beschreibt DOCKING (18) in Anlehnung an SCHUBERT (89), der mit einem Meßmikroskop die auf einer Ceresin-Unterlage abbindende Einbettmasse untersuchte.

Die Messung der Abbindeexpansion und der hygroskopischen Expansion in dieser Arbeit erfolgte mit folgender Versuchsanordnung:

Die vertikale Längenänderung einer abbindenden Einbettmasse wurde mit dem Meßmikroskop 50 der Fa. Carl Zeiss gemessen, welches eine Meßgenauigkeit von $\pm$ 5μ besitzt. Auf die zu untersuchende Probe wurde ein histologisches Deckglas (18 x 18 mm, 0,4 mm stark) gelegt, auf dem zentral im rechten Winkel eine Nadel mit Kanadabalsam fixiert war. So wurde die Einbettmasse mit einem Gewicht von nur 0,18 g belastet. Das Zentrum des mit der Nadel parallel verlaufenden Fadenkreuzes des Meßmikroskops wurde auf die Nadelspitze eingestellt und so lange nachjustiert, bis keine Veränderung der Meßspitze durch die anfänglich einsinkende Einbettmasse mehr festgestellt werden konnte. Je nach Einbettmasse und Methode wurde dieser Zeitpunkt nach 5 - 10 Minuten erreicht; bei der hygroskopischen Methode früher als unter normalen Abbindebedingungen. Unter praxisnaher Bedingung diente als Hohlraum eine Eisenmuffel (Ø: 43 mm, l: 45 mm), welche einseitig in longitudinaler Richtung ge-

Schlitzt war und durch eine Rohrschelle zusammengehalten wurde (Abb. 2). Nach dem Öffnen der Schelle konnte die Probe in toto herausgenommen werden (siehe thermische Expansion).

Die Bestimmung der hygroskopischen Abbindeexpansion erfolgte mit gleicher Versuchsanordnung. Die zu untersuchende Probe wurde sofort nach dem Einfüllen in die Muffel (25 Sekunddn nach Beginn des Anrührens) in ein Wasserbad gestellt, dessen Temperatur mithilfe eines Thermostates auf 37 $\pm$ 1°C gehalten wurde. Die Spitze der Meßnadel ragte aus dem Wasser heraus und konnte wie bei der Bestimmung der Abbindeexpansion im Meßmikroskop unter Auflichtbeleuchtung fixiert werden.

Gemessen wurde sowohl die normale als auch die hygroskopische Abbindeexpansion bei unterschiedlicher Muffelauskleidung:

I. Abbindeexpansion ohne Muffelauskleidung
II. Abbindeexpansion der vollständig mit einer 1,5 mm starken, nassen Asbesteinlage ausgekleideten Muffel
III. Abbindeexpansion der vollständig mit einer 4 mm starken, trockenen Schaumgummieinlage ausgekleideten Muffel
IV. Hygroskopische Expansion wie bei Methode I
V. Hygroskopische Expansion wie bei Methode II
VI. Hygroskopische Expansion wie bei Methode III.

Die zu untersuchende Einbettmasse wurde unter genauer Einhaltung des von der Firma angegebenen Pulver/Wasser-Verhältnisses in dem mechanischen Vacuum-Mixer der Fa. Kerr (US Patent # 453 914) bei einer Umdrehungszahl von 400 U/min. innerhalb von 20 Sekunden im Vacuum (1 Atm.) angerührt. - Als Anrührwasser wurde abgestandenes Wasser von Raumtemperatur (22°C) verwendet.

2 Stunden nach Fixierung der Meßspitze wurde das Fadenkreuz nachgestellt und die gemessene Längenänderung von der jetzt vorhandenen Gesamtlänge der Einbettmassen-

probe (mit einer Schublehre gemessen) subtrahiert (Methode nach JOERGENSEN (44)). So konnte die ursprüngliche Probenlänge ermittelt werden. Es war jetzt möglich, die prozentuale, lineare Längenänderung des Einbettmassekörpers zu errechnen.

C. Messung der thermischen Expansion

Der aus der vorangegangenen Untersuchung stammende Prüfkörper wurde sofort nach Bestimmung der Abbindeexpansion durch Öffnen der Schelle aus der Muffel entfernt und am Gipstrimmer so beschliffen, daß er die Form eines runden Stabes mit einem Durchmesser von 10 mm erhielt. Die thermische Expansion dieses Prüfkörpers wurde in einem Dilatometer DH der Fa. Netzsch bestimmt. Unterschiedliche Probenlängen werden durch eine Übertragungsmechanik ausgeglichen, sodaß die lineare, prozentuale Expansion abgelesen werden kann. Die Längenänderung nahm ein GLC-Verlagerungsaufnehmer (G. L. Collins Corp., USA) Typ SS 104 auf und wurde mithilfe eines ARU-Punktschreibers 410 der Fa. Hartmann & Braun AG registriert (Abb. 3). Innerhalb von 2 ½ Stunden wurde die Einbettmasseprobe kontinuierlich auf 700°C erhitzt. Die Temperaturmessung erfolgte mit einem Pl-Rh-Pl-Thermoelement, dessen Wert im zweiten Meßbereich des Punktschreibers aufgezeichnet wurde. Dabei belastete der Taststift des Verlagerungsaufnehmers den Prüfkörper mit etwa 25 g.

Der Kontraktionsverlauf der Einbettmasse beim Abkühlen ist nicht aufgezeichnet worden, da nach HEHRING (20) die Muffel im Inneren zur Zeit des Gusses maximal 50°C abkühlt. Die Gußverzugszeit hat also praktisch keine Bedeutung.

D. Modellversuch

Um vergleichen zu können, ob die experimentell ermittelten Werte denen eines gegossenen Objektes gleichen, wurde eine Serie von Gußversuchen unternommen. Dazu sind Modelle einer komplizierten Wachsform - einem MOD-Inlay entsprechend - hergestellt worden.

Die Ausformung der Wachsmodelle erfolgte in einer Stahlform (Abb. 4) nach folgender Methode:

Bei einer Temperatur von 70°C im Heißluftschrank erweichtes Preponwachs (grün) wurde in die mit einem dünnen Ölfilm isolierte Form gepreßt und nach dem Abkühlen (unter Druck) mit einem scharfen Messer geglättet. Diese Methode soll nach KRÄUTLE (53) zu geringsten Veränderungen des Wachses führen. JOERGENSEN (44) stellt fest, daß sich innere Spannungen im Wachs innerhalb der ersten 10 Minuten besonders stark bemerkbar machen, nach diesem Zeitpunkt aber vernachlässigt werden können.- Nach Entfernen des Deckels (Abb.4) wurde ein 1,5 mm im Durchmesser messender Gußstift zentral rechtwinklig auf der Occlusalfläche des modifizierten Inlays angebracht und anschließend das Wachsmodell aus der Form genommen. Nachdem es etwa 1 Stunde außerhalb der Stahlform gelegen hat, damit sich eventuelle innere Spannungen lösen konnten, wurde es im Meßmikroskop 50 der Fa. Carl Zeiss bei 30-facher Vergrößerung vermessen. Die Meßstrecken sind aus Abbildung 4 ersichtlich. Anschließend wurde das Wachsinlay auf einem Einbettgerät der Fa. Degussa so befestigt, daß seine Lage innerhalb der Muffel stets gleich war. Die Einwirkung der Abbindeexpansion bzw. der hygroskopischen Expansion an dreiflächigen Wachsinlays in Abhängigkeit von ihrer Plazierung innerhalb der Muffel untersuchte MUMFORD (68). Er ermittelte geringste Verziehungen zwischen dem occlusalen und cervical-approximalen Anteil, wenn die Wachsform zentral vom Gußring und dicht unter dem Muffelboden stand. In peripherer Stellung des Muffelringes kommt es zu Verzerrungen der beiden untersuchten Flächen, deren Diffe-

renz bis zu 1,1 %lin. beträgt. - MAHLER (64) weist ebenfalls auf exakte Stellung des Wachsmodells innerhalb der Muffel hin. Die von HEHRING (20) angegebenen Maße (Abb. 5) wurden abgeändert übernommen (Abb. 5). Insbesondere mußte der Abstand zwischen Wachsmodell und Muffelboden vergrößert werden, da sich im Vorversuch zeigte, daß Cristobalit beim Guß ohne Muffel leicht beim Vorwärmen reißt.

Es wurden je drei Güsse bei Anwendung von drei verschiedenen Einbettmassen bei 480°C (Guß in die "kalte Muffel") und bei 700°C unter folgenden Einbettungsmethoden hergestellt:

I. ohne Muffelauskleidung
II. vollständige Auskleidung der Muffel mit einer 1,5 mm starken, nassen Asbesteinlage
III. vollständige Auskleidung der Muffel mit einer 4 mm starken, trockenen Schaumgummieinlage
IV. wie Methode I im Warmwasserbad
V. wie Methode II im Warmwasserbad
VI. wie Methode III im Warmwasserbad.

Die Wachsformen wurden wie folgt behandelt:

1. Entfetten der Wachsoberfläche mit Aurofilm (Bremer Goldschlägerei)
2. Einbettung: Unter Beibehaltung der bei der Abbindeexpansion beschriebenen Anrührtechnik der Einbettmasse wurde das Modellinlay, als painting technic in der Literatur beschrieben, indirekt vacuumeingebettet. Diese sog. painting technic wurde wie folgt durchgeführt: Die Wachsform wird mit einem weichen Pinsel dünn mit Einbettmasse bestrichen und in die mit gleicher Masse gefüllten Muffel vorsichtig versenkt.
3. Wachsaustreibung: 2 Stunden nach beendeter Einbettung und Entfernung des Gußstiftes im Vorwärmofen für 1 Stunde bei 300°C.

4. Vorwärmen der Muffel: 1 Stunde bei 480°C bzw. 700°C
5. Gußmaterial: 3,3 g Degulor M (Fa. Degussa) pro Guß
6. Schmelzverfahren: Der Guß erfolgte nach Verflüssigung der Legierung mithilfe eines Luft-Leuchtgas-Gemisches in der Horizontal-Kohletiegel-Schleuder (Degussa)
7. Ausbettung des Gusses: Nach Abkühlen der Muffel auf Raumtemperatur
8. Absäuern: mit 10 %-iger Schwefelsäure
9. Entfernen des Gußstiftes: mit einer Nylonscheibe
10. Vermessung des Inlaymodells im Meßmikroskop

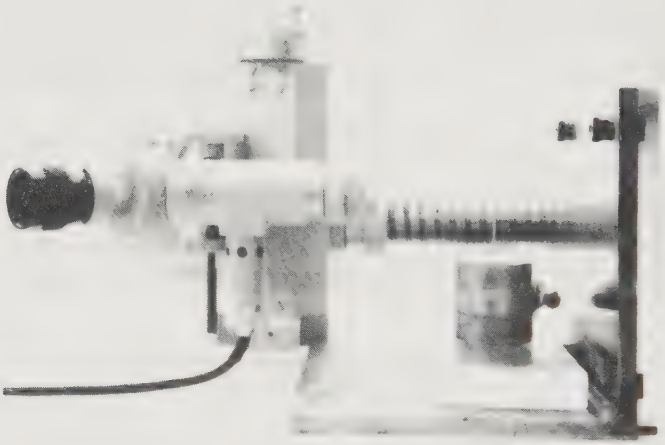


Abb. 2 Versuchsanordnung zur Bestimmung der Abbindeexpansion (Die Wasserbad Anlage wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen)

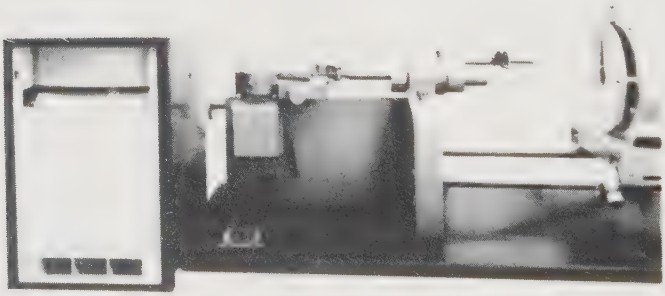


Abb. 3 Dilatometer und Punktschreiber zur Bestimmung der thermischen Expansion

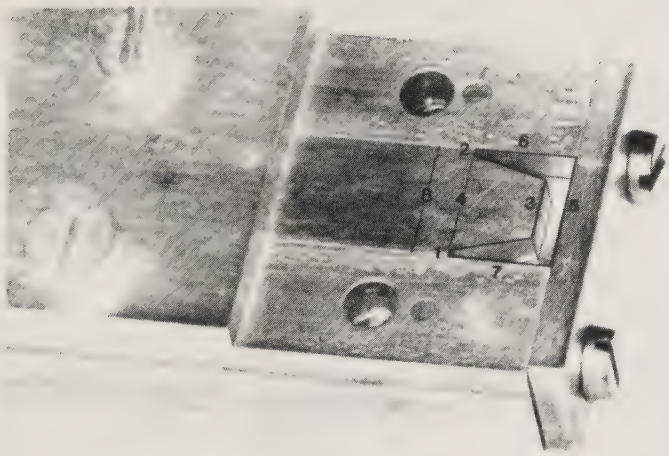


Abb. 4 Stahlform zur Herstellung der Wachsmodelle

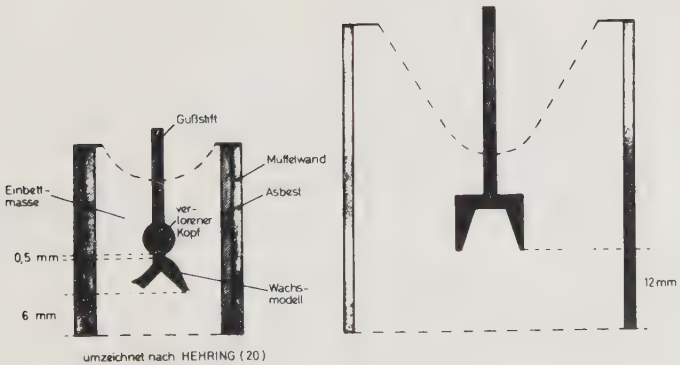


Abb. 5 Einbettung der Wachsmodelle

E. Physikalische Angaben der verwendeten Materialien

E 316 Universal (Dentaurum, Pforzheim)
W : P = 33 ml : 100 g
Abbindeexpansion: 0,35 %
Thermische Expansion - 480°C : 0,43 %
- 700°C : 0,80 %
Wachsaustreibung: 30 Minuten nach beendeter Einbettung

Beauty-Cast (Whip-Mix Corporation, Louisville)
W : P = 30 ml : 100 g
Abbindeexpansion: 0,30 %
Abbindeexpansion (1 Asbest): 0,70 %
Hygroskopische Expansion: 1,50 %
Thermische Expansion - 900°F (482°C) : 0,55 %
-1200°F (649°C) : 1,20 %
Festigkeit (Lbs.per Sq.In.): 1000
Verarbeitungszeit: 3 Minuten
Wachsaustreibung: 30 Minuten nach beendeter Einbettung
ADA geprüft (Spezifikation Nr. 2)

Cristobalit (Whip-Mix Corporation, Louisville)
W : P = 40 ml : 100 g
Abbindeexpansion: 0,35 %
Hygroskopische Expansion: 1,50 %
Thermische Expansion - 1300°F (700°C) : 1,25 %
Festigkeit (Lbs.per Sq.In.): 1500
Verarbeitungszeit: 3 Minuten
Wachsaustreibung: 30 Minuten nach beendeter Einbettung

Preponwachs, grün (Bayer, Leverkusen)
Angaben nach NELKE (70):
Schmelzpunkt (Mittelwert): 53,9°C
Beginn der Verknetbarkeit: 44,1°C

Degulor M (Fa. Degussa, Frankfurt a.M.)

Schmelzintervall: 970 - 900°C

Brinellhärte: 220 kg/mm^2 (ausgehärtet)

Thermische Kontraktion: nach ROHRBACH (81): 1,68 $\pm$0,06%lin.

nach ILG (42): 1,6 %lin.

IV. Versuchsergebnisse

A. Abbinde- bzw. hygroskopische Expansion

Die Ergebnisse der Kaltexpansion bei veränderten Abbindebedingungen sind in Tab. 3 - 5 dargestellt:

Methode (s.S.25)	Abbinde- bzw. hygroskopische Expansion (%lin.)	
	Einzelwerte	Arithmetisches Mittel
I	0,626 0,490 0,592	0,569
II	1,090 1,107 1,620	1,272
III	0,939 1,014 0,975	0,976
IV	1,620 1,530 1,572	1,571
V	2,624 3,012 3,357	2,997
VI	1,974 2,390 2,580	2,314

Tab. 3 Einbettmasse: E 316 Universal

Methode	Abbinde- bzw. hygroskopische Expansion (% lin.)	
	Einzelwerte	Arithmetisches Mittel
I	0,758 0,722 0,848	0,776
II	2,274 1,871 2,250	2,132
III	1,580 1,480 1,190	1,416
IV	1,721 1,691 2,030	1,817
V	2,247 2,420 2,600	2,422
VI	2,980 2,610 3,080	2,890

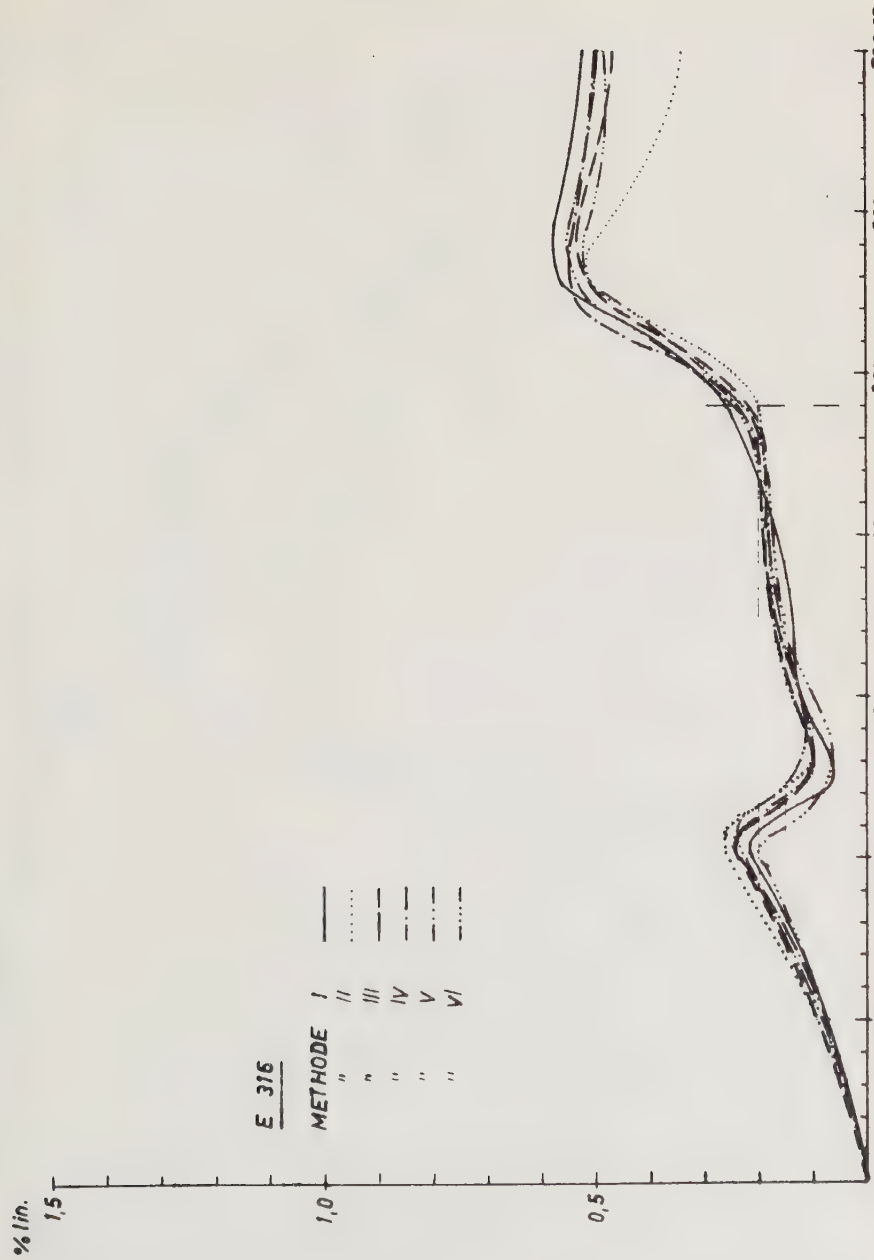
Tab. 4 Einbettmasse: Beauty-Cast

Methode	Abbinde- bzw. hygroskopische Expansion (%lin.)	
	Einzelwerte	Arithmetisches Mittel
I	1,010 0,989 1,012	1,004
II	2,050 2,345 2,861	2,419
III	1,839 2,235 2,112	2,062
IV	2,545 2,097 1,829	2,157
V	2,851 2,825 2,782	2,819
VI	3,132 3,279 3,198	3,203

Tab. 5 Einbettmasse: Cristobalit

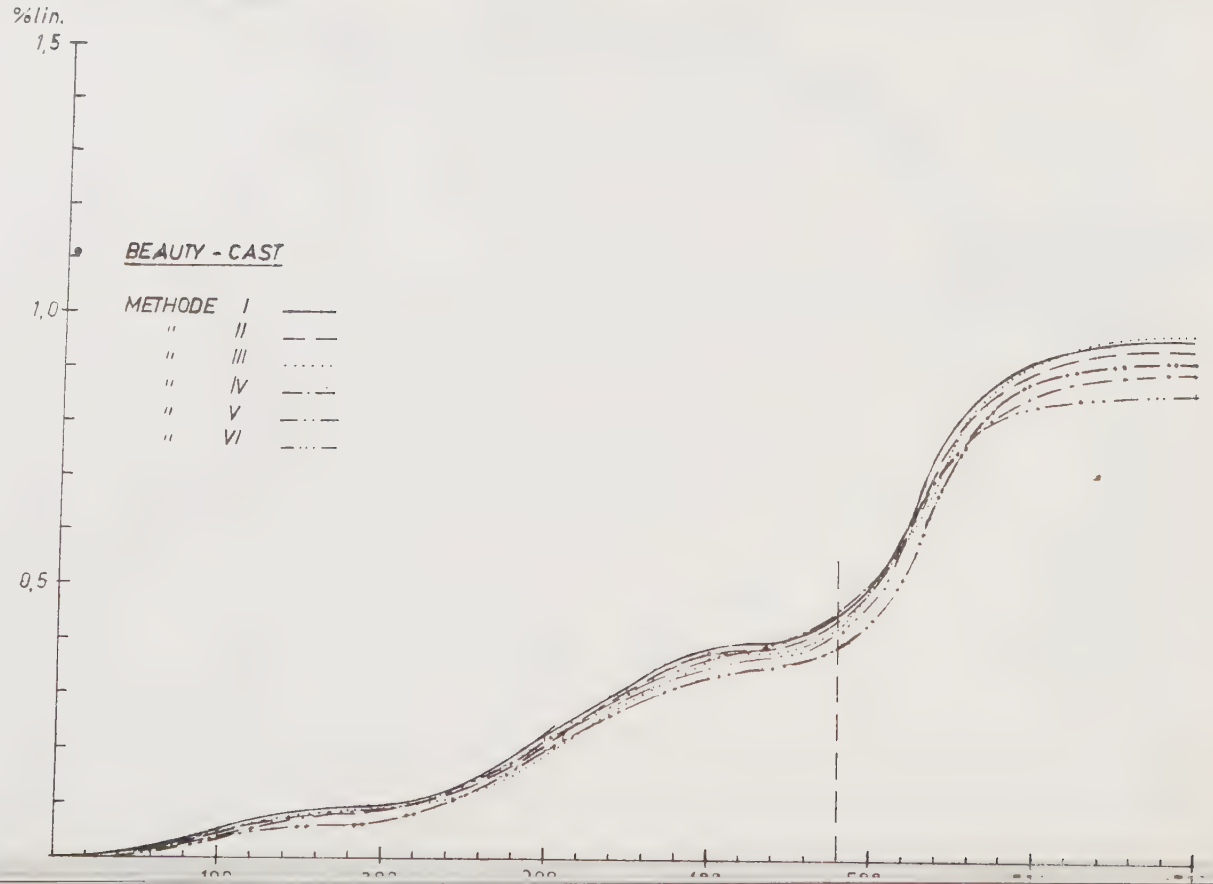
B. Thermische Expansion

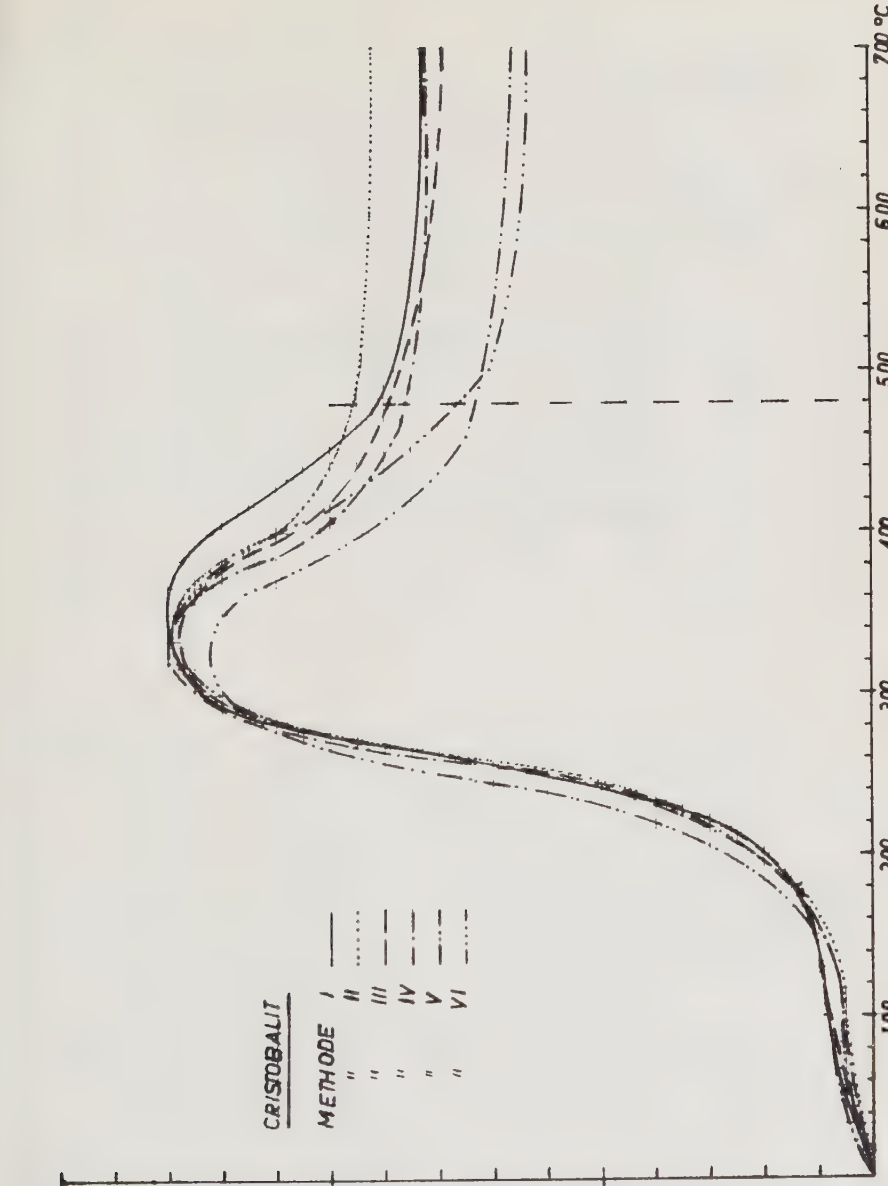
Die thermischen Expansionskurven aus dem Dilatometerversuch wurden aus drei Einzelmessungen gemittelt. Sie sind den grafischen Darstellungen 1 - 3 zu entnehmen.



Grafische Darstellung 1

Grafische Darstellung 2





Grafische Darstellung 3

C. Modellversuch

Die Meßstrecke der Wachsform bzw. die der gegossenen Objekte sind in Tab. 6 - 41 zusammengestellt.

Es bedeuten:

Str: Lage der Meßstrecken (vergl. Abb. 4, S.31)

W : Länge der Meßstrecken in μ (Wachsmodell)

G : Länge der Meßstrecken in μ (Guß)

Dμ : Differenz (μ) zwischen Wachsmodell und Guß

D %: Kontraktion bzw. Expansion des Gußobjektes bezogen auf die Größe des Wachsmodells (%lin.)

M %: Arithmetischer Mittelwert von D %

M % : Arithmetischer Mittelwert von M %

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	620	552	5470	9975	9935	8355	8290	8803
G	615	545	5440	9895	9872	8200	8225	8735
Dμ	- 5	- 7	- 30	- 80	- 63	-155	- 65	- 68
D%	-0,806	-1,268	-0,548	-0,802	-0,634	-1,855	-0,784	-0,772
W	612	585	5432	9975	9917	8310	8233	8778
G	615	590	5365	9931	9805	8270	8217	8726
Dμ	3	5	67	- 44	-112	- 40	- 16	- 52
D%	0,490	0,855	-1,233	-0,441	-1,129	-0,481	-0,194	-0,592
W	612	625	5410	9993	9920	8313	8175	8756
G	598	613	5415	9995	9815	8241	8115	8784
Dμ	-14	-12	5	2	-105	- 72	- 60	28
D%	-2,287	-1,920	0,092	0,020	-1,058	-0,866	-0,733	0,319
M%	-o,867	-0,777	-0,563	-0,407	-0,940	-1,067	-0,570	-0,348
M%	-0,822					-0,818		

Tab. 6 E 316 ohne Auskleidung, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	663	580	5398	9988	9973	8092	8032	8745
G	648	570	5370	9978	9882	8282	8172	8760
Dμ	-15	-10	- 28	- 10	- 91	190	140	15
D%	-2,262	-1,724	-0,518	-0,100	-0,912	2,347	1,743	0,171
W	635	585	5413	9916	9905	8100	8057	8696
G	620	580	5408	9887	9860	8135	8070	8687
Dμ	-15	- 5	- 5	- 29	- 45	35	13	- 9
D%	-2,362	-0,855	-0,092	-0,291	-0,454	0,432	0,161	-0,104
W	695	613	5407	9867	9908	8112	8027	8559
G	680	575	5395	9850	9865	8162	8098	8595
Dμ	-15	-38	- 12	- 17	- 43	50	71	36
D%	-2,158	-6,199	-0,222	-0,172	-0,433	0,616	0,884	0,421
M%	-2,260	-2,926	-0,277	-0,188	-0,599	1,131	0,929	0,163
M%	-2,593					1,030		

Tab. 7 E 316 mit Asbestauskleidung, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	650	580	5382	9896	9905	8010	8125	8676
G	645	575	5381	9854	9850	8135	8175	8634
Dμ	- 5	- 5	- 1	- 42	- 55	125	50	- 42
D%	-0,769	-0,861	-0,002	-0,424	-0,555	1,560	0,615	-0,461
W	630	520	5435	9903	9926	8109	8020	8753
G	626	518	5418	9864	9845	8160	8055	8720
Dμ	- 4	- 2	- 17	- 39	- 81	51	35	- 33
D%	-0,634	-0,384	-0,313	-0,393	-0,816	0,628	0,436	-0,376
W	640	523	5458	9880	9955	8160	8162	8713
G	635	515	5395	9846	9885	8195	8145	8696
Dμ	- 5	- 8	- 63	- 34	- 70	35	- 17	- 17
D%	-0,781	-1,529	-1,154	-0,344	-0,703	0,428	-0,208	-0,195
M%	-0,728	-0,925	-0,489	-0,387	-0,691	0,872	0,281	-0,344
M%	-0,826					0,576		

Tab. 8 E 316 mit Schaumgummiauskleidung, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	593	560	5400	9863	9888	8185	8075	8710
G	587	555	5380	9815	9840	8200	8150	8721
Dμ	- 6	- 5	- 20	- 48	- 48	15	75	11
D%	-1,012	-0,893	-0,370	-0,486	-0,485	0,183	0,928	0,126
W	643	535	5420	9860	9910	8078	8015	8682
G	620	525	5390	9805	9855	8207	8097	8660
Dμ	-23	-10	- 30	- 55	- 55	129	82	- 22
D%	-3,576	-1,869	-0,553	-0,558	-0,555	1,596	1,023	-0,253
W	635	575	5425	9870	9893	8135	8040	8660
G	630	570	5422	9840	9837	8130	8033	8640
Dμ	- 5	- 5	- 3	- 30	- 56	- 5	- 7	- 20
D%	-0,787	-0,869	- 0,055	-0,309	-0,566	-0,061	-0,087	-0231
M%	-1,791	-1,210	-0,326	-0,351	-0,535	0,572	0,621	-0,119
M%	-1,500					0,586		

Tab. 9 E 316 ohne Auskleidung, hygroskopisch, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	635	540	5420	9865	9920	8160	8107	8690
G	630	535	5415	9873	9885	8225	8185	8708
Dμ	- 5	- 5	- 5	8	- 35	65	78	18
D%	-0,787	-0,926	-0,092	0,081	-0,353	0,797	0,962	0,207
W	625	612	5397	9825	9932	7915	8000	8588
G	618	610	5400	9850	9880	8140	8055	8622
Dμ	- 7	- 2	3	25	- 52	225	55	34
D%	-1,120	-0,327	0,056	0,254	-0,523	2,842	0,688	0,395
W	625	600	5405	9842	9923	8020	7943	8617
G	610	590	5410	9847	9875	8131	8051	8647
Dμ	-15	-10	5	5	- 48	111	108	30
D%	-2,400	-1,667	0,092	0,051	-0,483	1,384	1,359	0,348
M%	-1,435	-0,973	0,018	0,129	-0,453	1,674	1,003	0,316
M%	-1,204					0,828		

Tab. 10 E 316 mit Asbestauskleidung, hygroskopisch, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	663	575	5415	9833	9882	8038	7955	8595
G	650	565	5421	9865	9887	8095	8057	8650
Dμ	-13	-10	6	32	5	57	102	55
D%	-1,960	-1,739	0,111	0,325	0,051	0,705	1,282	0,639
W	635	590	5410	9872	9910	8135	8075	8647
G	625	580	5410	9897	9888	8210	8140	8692
Dμ	-10	-10	0	25	- 22	75	65	45
D%	-1,574	-1,695	0,000	0,253	-0,222	0,921	0,804	0,520
W	627	580	5390	9860	9900	8080	7965	8653
G	623	590	5388	9850	9861	8187	8180	8637
Dμ	- 4	10	- 2	- 10	- 39	107	215	- 16
D%	-0,638	1,724	-0,037	-0,101	-0,394	1,324	2,698	-0,184
M%	-1,290	-0,570	0,025	0,159	-0,188	0,983	1,594	0,325
M%	-0,980					1,288		

Tab. 11 E 316 mit Schaumgummiauskleidung, hygroskopisch, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	632	575	5410	9862	9910	8188	8072	8655
G	617	562	5375	9787	9773	8132	8041	8608
Dμ	-15	-13	- 35	- 75	-137	- 56	- 31	- 47
D%	-2,373	-2,260	-0,645	-0,760	-1,382	-0,683	-0,384	-0,543
W	647	527	5405	9872	9890	8090	7965	8698
G	645	505	5355	9810	9775	8030	7910	8660
Dμ	- 2	-22	- 50	- 62	-115	- 60	- 55	- 38
D%	-0,309	-4,174	-0,925	-0,628	-1,162	-0,742	-0,690	-0,437
W	665	440	5405	9870	9863	8150	8043	8765
G	657	475	5365	9807	9770	8060	8022	8675
Dμ	- 8	35	- 40	- 63	- 93	- 90	- 21	- 90
D%	-1,777	7,954	-0,740	-0,638	-0,942	-1,104	-0,261	-1,026
M%	-1,486	-3,217	-0,766	-0,675	-1,162	-0,843	-0,365	-0,668
M%	-2,351					-0,604		

Tab. 12 E 316 ohne Auskleidung, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	620	580	5417	9870	9930	8343	8170	8670
G	612	570	5385	9847	9835	8375	8215	8665
Dμ	- 8	-10	- 32	- 23	- 95	32	45	- 5
D%	-1,290	-1,724	-0,590	-0,233	-0,957	0,383	0,551	-0,057
W	620	565	5400	9928	9902	8042	8002	8743
G	615	560	5405	9912	9825	8092	8055	8737
Dμ	- 5	- 5	5	- 16	- 77	50	53	- 6
D%	-0,806	-0,885	0,093	-0,160	-0,777	0,621	0,662	-0,069
W	670	545	5395	9875	9923	8238	8185	8660
G	662	530	5373	9860	9813	8313	8215	8668
Dμ	- 8	-15	- 22	- 15	-110	75	30	8
D%	-1,194	-2,752	-0,407	-0,151	-1,108	0,910	0,366	0,092
M%	-1,096	-1,787	-0,301	-0,181	-0,947	0,638	0,526	-0,011
M%	-1,441					0,582		

Tab. 13 E 316 mit Asbestauskleidung, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	665	582	5415	9875	9895	8087	8028	8628
G	665	577	5365	9847	9772	8102	8087	8605
Dμ	0	- 5	- 50	- 28	-123	15	59	- 23
D%	0,000	-0,859	-0,923	-0,283	-1,243	0,185	0,734	-0,266
W	677	515	5395	9890	9880	8110	8035	8682
G	667	500	5370	9837	9750	8080	8085	8670
Dμ	-10	-15	- 25	- 53	-130	- 30	50	- 12
D%	-1,477	-2,912	-0,463	-0,536	-1,315	-0,369	0,622	-0,137
W	680	630	5372	9987	9880	8130	8092	8677
G	645	600	5330	9903	9795	8095	8170	8658
Dμ	-35	-30	- 42	- 84	- 85	- 35	78	- 19
D%	-5,147	-4,762	-0,789	-0,841	-0,860	-0,431	0,963	-0,218
M%	-2,208	-2,844	-0,725	-0,553	-1,139	-0,205	0,773	-0,207
M%	-2,526					0,284		

Tab. 14 E 316 mit Schaumgummiauskleidung, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	622	577	5425	9942	9895	8085	7985	8743
G	610	567	5397	9914	9785	8033	8015	8737
Dμ	-12	-10	- 28	- 28	-110	- 52	30	- 6
D%	-1,927	-1,734	-0,516	-0,281	-1,111	-0,643	0,375	-0,068
W	612	550	5367	9935	9863	8370	8255	8773
G	600	538	5362	9910	9777	8362	8252	8772
Dμ	-12	-12	- 5	- 25	- 86	- 8	- 3	- 1
D%	-1,960	-2,182	-0,093	-0,251	-0,871	-0,096	-0,036	-0,011
W	630	592	5403	9858	9877	8230	8175	8636
G	620	571	5382	9820	9782	8285	8197	8629
Dμ	-10	-21	- 21	- 38	- 85	55	22	- 7
D%	-1,587	-3,547	-0,388	-0,385	-0,860	0,668	0,269	-0,082
M%	-1,825	-2,487	-0,332	-0,306	-0,947	-0,023	0,203	-0,054
M%	-2,156					0,090		

Tab. 15 E 316 ohne Auskleidung, hygroskopisch, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	665	560	5413	9867	9955	8108	8037	8642
G	650	560	5380	9880	9800	8113	8067	8670
Dμ	-15	0	- 33	13	-155	5	30	- 28
D%	-2,255	0,000	-0,609	0,131	-1,557	0,062	0,371	-0,323
W	655	640	5365	9905	9865	8135	8065	8600
G	660	620	5370	9880	9790	8130	8075	8600
Dμ	- 5	-20	5	- 25	- 75	- 5	10	0
D%	-0,752	-3,125	0,093	-0,252	-0,760	-0,061	0,123	0,000
W	645	575	5392	9890	9900	8152	8025	8670
G	632	570	5385	9907	9860	8250	8098	8705
Dμ	- 7	- 5	- 7	17	- 40	98	73	35
D%	-1,035	-0,869	-0,129	0,172	-0,404	1,202	0,909	0,404
M%	-1,347	-1,331	-0,215	0,017	-0,907	0,400	0,467	0,027
M%	-1,339					0,433		

Tab. 16 E 316 mit Asbestauskleidung, hygroskopisch, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	665	540	5395	9862	9875	8133	8105	8657
G	645	530	5397	9852	9785	8265	8187	8677
Dμ	-20	-10	2	- 10	- 90	132	82	20
D%	-3,007	-1,852	0,037	-0,101	-0,911	1,623	1,011	0,231
W	675	550	5403	9920	9890	8076	8068	8695
G	670	560	5387	9927	9812	8127	8085	8697
Dμ	- 5	10	- 16	7	- 82	51	17	2
D%	-0,741	1,818	-0,296	0,071	-0,829	0,631	0,210	0,023
W	640	605	5393	9915	9883	7945	7970	8670
G	630	600	5360	9925	9820	8117	8045	8695
Dμ	-10	- 5	- 33	10	- 63	172	75	25
D%	-1,562	-0,826	-0,611	0,100	-0,637	2,164	0,941	0,287
M%	-1,770	-0,286	-0,156	0,023	-0,792	1,472	0,720	0,180
M%	-1,028					1,196		

Tab. 17 E 316 mit Schaumgummiauskleidung, hygroskopisch, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	665	585	5440	9945	9880	8190	8053	8695
G	670	605	5397	9928	9842	8200	8085	8653
Dμ	5	20	- 43	- 17	- 38	10	32	- 42
D%	0,752	3,504	-0,790	-0,170	-0,385	0,122	0,397	-0,471
W	636	590	5440	9860	9930	8073	8022	8634
G	628	580	5423	9825	9865	8105	8053	8617
Dμ	- 8	-10	- 17	- 35	- 65	32	31	- 17
D%	-1,258	-1,695	-0,312	-0,355	-0,655	0,396	0,386	-0,196
W	633	597	5447	9935	9900	8095	8000	8705
G	632	593	5417	9915	9838	8120	8036	8690
Dμ	- 1	- 4	- 30	- 20	- 62	25	36	- 15
D%	-0,158	-0,670	-0,550	-0,201	-0,626	0,308	0,450	-0,172
M%	-0,221	0,379	-0,551	-0,242	-0,555	0,275	0,411	-0,172
M%	0,076					0,343		

Tab. 18 Beauty-Cast ohne Auskleidung, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	615	566	5430	9860	9900	8088	8000	8679
G	602	555	5382	9882	9882	8250	8183	8725
Dμ	-13	-11	- 48	22	- 18	162	183	46
D%	-2,113	-1,943	-0,884	0,223	-0,182	2,002	2,288	0,530
W	645	587	5348	9937	9886	8013	7925	8705
G	658	600	5340	9965	9857	8175	8122	8707
Dμ	13	13	- 8	28	- 29	162	197	2
D%	2,015	2,214	-0,149	0,281	-0,293	2,021	2,484	0,023
W	603	576	5425	9862	9900	8067	8025	8683
G	605	580	5405	9897	9880	8210	8232	8712
Dμ	2	4	- 20	35	- 20	143	207	29
D%	0,332	0,694	-0,368	0,354	-0,202	1,772	2,568	0,332
M%	0,078	0,321	-0,467	0,286	-0,225	1,931	2,446	0,295
M%	0,189					2,107		

Tab. 19 Beauty-Cast mit Asbestauskleidung, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	625	590	5422	9922	9840	8156	8080	8707
G	630	595	5405	9923	9822	8227	8132	8698
Dμ	5	5	- 17	1	- 18	71	52	- 9
D%	0,800	0,847	-0,313	0,010	-0,183	0,870	0,644	-0,103
W	630	600	5430	9885	9915	7997	8130	8655
G	630	620	5410	9920	9850	8295	8233	8670
Dμ	0	20	- 20	35	- 65	298	103	15
D%	0,000	0,333	-0,370	0,354	-0,655	3,726	1,267	0,173
W	655	560	5432	9852	9860	8130	8100	8637
G	660	565	5390	9855	9833	8410	8265	8630
Dμ	5	5	- 42	3	- 27	280	165	- 7
D%	0,763	0,893	-0,773	0,030	-0,274	3,444	2,037	-0,081
M%	0,521	0,691	-0,485	0,131	-0,370	1,532	1,316	-0,003
M%	0,606					1,424		

Tab. 20 Beauty-Cast mit Schaumgummiauskleidung, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	635	570	5435	9892	9865	8233	8160	8687
G	628	530	5360	9853	9850	8255	8195	8695
Dμ	- 7	-40	- 75	- 39	- 15	22	35	8
D%	-1,102	-7,018	-1,379	-0,394	-0,152	0,267	0,429	0,092
W	665	595	5400	9815	9865	8075	8065	8555
G	618	552	5410	9725	9793	8343	8295	8555
Dμ	-47	-43	10	- 90	- 72	268	230	0
D%	-7,067	-7,227	0,185	-0,916	-0,729	3,318	2,851	0,000
W	632	550	5392	9890	9885	8055	8048	8708
G	630	547	5375	9863	9852	8130	8142	8686
Dμ	- 2	- 3	- 17	- 27	- 33	75	94	- 22
D%	-0,316	-0,545	-0,315	-0,273	-0,323	0,929	1,167	-0,252
M%	-2,828	-4,930	-0,503	-0,527	-0,401	1,505	1,482	-0,053
M%	-3,876					1,493		

Tab. 21 Beauty-Cast ohne Auskleidung, hygroskopisch, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	658	580	5445	9877	9900	8117	8013	8639
G	660	597	5437	9863	9895	8212	8115	8606
Dμ	2	17	- 8	- 14	- 5	95	102	- 33
D%	0,304	2,932	-0,147	-0,141	-0,051	1,170	1,272	-0,381
W	635	540	5427	9833	9905	8075	7953	8658
G	665	545	5398	9878	9895	8285	8160	8668
Dμ	30	5	- 29	45	- 10	210	207	10
D%	4,724	0,926	-0,534	0,457	-0,100	2,600	2,602	0,115
W	623	570	5410	9823	9887	8012	7982	8630
G	625	565	5420	9855	9895	8172	8082	8665
Dμ	2	- 5	10	32	8	160	100	35
D%	0,321	-0,877	0,184	0,325	0,081	1,997	1,252	0,406
M%	1,783	0,993	-0,166	0,213	-0,023	1,553	1,708	0,046
M%	1,388					1,630		

Tab. 22 Beauty-Cast mit Asbestauskleidung, hygroskopisch, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	623	540	5462	9940	9860	8065	7985	8777
G	625	550	5455	10068	9940	8205	8205	8893
Dμ	2	10	- 7	128	80	140	220	116
D%	0,321	1,852	-0,128	1,288	0,811	1,735	2,755	1,321
W	643	550	5400	9898	9897	8075	8013	8705
G	667	575	5428	9948	9900	8210	8133	8706
Dμ	24	25	28	50	3	135	120	1
D%	3,732	4,545	0,518	0,505	0,030	1,671	1,497	0,011
W	620	570	5392	9872	9878	8052	8000	8682
G	610	550	5413	9933	9925	8272	8193	8773
Dμ	-10	-20	21	61	47	220	193	91
D%	-1,613	-3,509	0,389	0,617	0,475	2,732	2,413	1,048
M%	0,813	0,962	0,259	0,803	0,438	2,046	2,221	0,793
M%	0,887					2,133		

Tab. 23 Beauty-Cast mit Schaumgummiauskleidung, hygroskopisch, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	630	513	5450	9855	9895	8140	8078	8712
G	652	533	5432	9850	9772	8125	8067	8665
Dμ	22	20	- 18	- 5	-123	- 15	- 11	- 47
D%	3,492	3,898	-0,330	-0,051	-1,243	-0,184	-0,136	-0,539
W	630	510	5398	9992	9905	8025	7983	8852
G	615	505	5360	9865	9790	8025	7840	8745
Dμ	-15	- 5	- 38	-127	-115	0	-143	-107
D%	-2,381	-0,980	-0,704	-1,271	-1,161	0,000	-1,791	-1,208
W	635	573	5402	9913	9895	7993	7925	8705
G	630	570	5325	9847	9775	7947	7895	8647
Dμ	- 5	- 3	- 77	- 66	-120	- 46	- 30	- 58
D%	-0,787	-0,523	-1,425	-0,665	-1,212	-0,575	-0,378	-0,666
M%	0,108	0,798	-0,819	-0,645	-1,205	-0,253	-0,768	-0,804
M%	0,453					-0,510		

Tab. 24 Beauty-Cast ohne Auskleidung, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	617	505	5427	10003	9870	7992	7897	8881
G	603	498	5425	10015	9807	8237	8048	8914
Dμ	-14	- 7	- 2	12	- 63	245	151	33
D%	-2,269	-1,386	-0,036	0,012	-0,638	3,065	1,912	0,372
W	630	535	5408	9897	9870	8320	8213	8722
G	635	545	5374	9927	9807	8475	8330	8147
Dμ	5	10	- 34	30	- 63	155	117	25
D%	0,794	1,869	-0,628	0,303	-0,638	1,863	1,424	0,286
W	605	527	5450	9885	9892	8133	8105	8753
G	605	526	5416	9910	9878	8208	8163	8779
Dμ	0	- 1	- 34	25	- 14	75	58	26
D%	0,000	-0,189	-0,623	0,257	-0,141	0,922	0,703	0,297
M%	-0,488	0,098	-0,429	0,191	-0,707	1,950	1,346	0,318
M%	-0,130					1,648		

Tab. 25 Beauty-Cast mit Asbestauskleidung, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	625	545	5418	9968	9907	7982	7915	8798
G	630	542	5383	9945	9817	8045	7955	8773
Dμ	5	- 3	- 35	- 23	- 90	63	40	- 25
D%	0,800	-0,550	-0,645	-0,231	-0,908	0,789	0,505	-0,284
W	620	540	5455	9837	9885	8060	7928	8677
G	625	547	5415	9835	9780	8090	7937	8663
Dμ	5	7	- 40	- 2	-105	30	9	- 14
D%	0,806	1,296	-0,751	-0,020	-1,062	0,372	0,114	-0,161
W	607	525	5425	9912	9897	7978	7912	8779
G	615	535	5410	9890	9833	8233	8038	8740
Dμ	8	10	- 15	- 22	- 64	255	126	- 39
D%	1,318	1,904	-0,276	-0,221	-0,646	3,196	1,592	-0,444
M%	0,975	0,883	-0,557	-0,157	-0,872	1,452	0,737	-0,296
M%	0,929					1,094		

Tab. 26 Beauty-Cast mit Schaumgummiauskleidung, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	600	588	5435	9938	9937	7880	7873	8750
G	580	575	5380	9850	9825	8040	7887	8695
Dμ	-20	-13	- 55	- 88	-112	160	14	- 55
D%	-3,333	-2,210	-1,011	-0,885	-1,127	2,030	0,177	-0,628
W	600	542	5470	9847	9913	7915	7815	8705
G	590	520	5402	9703	9825	7962	7890	8593
Dμ	-10	-22	- 68	-144	- 88	47	75	-112
D%	-1,666	-4,059	-1,261	-1,462	-0,887	0,593	0,959	-1,286
W	627	580	5400	9860	9883	8027	7992	8653
G	608	580	5368	9745	9788	8155	8128	8557
Dμ	-19	0	- 32	-115	- 95	128	136	- 96
D%	-3,030	0,000	-0,592	-1,166	-0,961	1,594	1,701	-1,109
M%	-2,676	-1,423	-0,955	-1,171	-0,992	1,405	0,945	-0,670
M%	-2,049					1,175		

Tab. 27 Beauty-Cast ohne Auskleidung, hygroskopisch, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	635	575	5425	9955	9865	8002	7942	874
G	635	574	5416	10003	9848	8143	8078	879
Dμ	0	- 1	- 9	48	- 17	141	136	4
D%	0,000	-0,170	-0,166	0,482	-0,172	1,762	1,712	0,56
W	625	520	5405	9925	9898	8035	7925	877
G	605	505	5337	9910	9832	8213	8080	878
Dμ	-20	-15	- 8	- 15	- 66	178	155	
D%	-3,200	-2,885	-0,148	-0,151	-0,666	2,215	1,955	0,05
W	630	595	5427	9952	9900	8088	8040	872
G	627	592	5421	9953	9820	8093	8055	873
Dμ	- 3	- 3	- 6	1	- 80	5	15	
D%	-0,476	-0,504	-0,119	0,010	-0,808	0,062	0,187	0,08
M%	-1,158	-0,986	-0,144	0,113	-0,548	1,346	1,284	0,23
M%	-1,072					1,315		

Tab. 28 Beauty-Cast mit Asbestauskleidung, hygroskopisch, 4

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	637	525	5410	9880	9905	7973	7932	871
G	625	517	5372	9970	9905	8062	8085	882
Dμ	-12	- 8	- 38	90	0	89	153	9
D%	-1,883	-1,525	-0,702	0,919	0,000	1,116	1,928	1,03
W	618	575	5410	9838	9898	8040	7978	864
G	615	580	5372	9890	9826	8135	8083	863
Dμ	- 3	5	- 38	52	- 63	95	105	- 1
D%	-0,485	0,869	-0,702	0,528	-0,636	1,182	1,316	-0,16
W	610	500	5400	9960	9945	8020	8015	885
G	592	487	5382	9978	9907	8250	8157	889
Dμ	-18	-13	- 8	18	- 38	230	142	4
D%	-2,951	-2,600	-0,326	0,542	-0,339	1,722	1,671	0,47
M%	-1,773	-1,085	-0,326	0,542	-0,339	1,722	1,671	0,47
M%	-1,429					1,696		

Tab. 29 Beauty-Cast mit Schaumgummiauskleidung, hygroskopisch, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	625	520	5423	9935	9840	8030	7965	8790
G	630	555	5425	10013	9860	7995	7930	8828
Dμ	5	35	2	78	20	- 35	- 35	38
D%	0,800	6,731	0,037	0,785	0,203	-0,436	-0,439	0,432
W	620	600	5390	9872	9853	8125	8083	8652
G	630	602	5380	9875	9908	8250	8243	8643
Dμ	10	2	- 10	3	55	125	160	- 9
D%	1,613	0,333	-0,186	0,030	0,558	1,538	1,979	-0,104
W	610	565	5410	9878	9875	8010	7945	8688
G	625	585	5413	9850	9875	8092	8005	8655
Dμ	15	20	3	- 28	0	82	60	- 33
D%	2,459	3,539	0,055	-0,283	0,000	1,024	0,755	-0,379
M%	1,624	2,354	-0,031	0,177	0,254	0,367	0,765	-0,017
M%	1,889					0,566		

Tab. 30 Cristobalit ohne Auskleidung, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	655	625	5420	9895	9877	8112	8065	8617
G	640	620	5475	9945	9905	8290	8190	8685
Dμ	-15	- 5	55	50	28	178	125	68
D%	-2,290	-0,800	1,015	0,562	0,283	2,194	1,549	0,789
W	628	515	5418	9858	9910	8118	8140	8715
G	628	515	5420	9908	9962	8265	8170	8865
Dμ	0	0	2	50	52	147	30	50
D%	0,000	0,000	0,037	0,507	0,525	1,810	0,369	0,573
W	630	515	5390	9913	9798	8010	7952	8768
G	625	510	5378	9998	9872	8160	8108	8863
Dμ	- 5	- 5	- 12	85	74	150	156	95
D%	-0,794	-0,971	-0,223	0,857	0,775	1,860	1,961	1,083
M%	-1,028	-0,590	0,276	0,640	0,527	1,955	1,293	0,815
M%	-0,809					1,624		

Tab. 31 Cristobalit mit Asbestauskleidung, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	625	530	5388	9835	9873	8192	8120	8680
G	628	560	5405	9910	9930	8233	8200	8722
Dμ	3	30	17	75	57	41	80	42
D%	0,480	5,660	0,315	0,762	0,577	0,500	0,985	0,484
W	625	525	5467	9918	9870	8025	8030	8768
G	615	550	5482	9940	9920	8065	8067	8775
Dμ	-10	25	15	22	50	40	37	7
D%	-1,600	4,761	0,274	0,221	0,507	0,498	0,461	0,087
W	625	560	5420	9818	9888	7995	7960	8633
G	620	560	5432	9865	9905	8063	8085	8685
Dμ	- 5	0	12	47	17	68	125	52
D%	-0,800	0,000	0,216	0,478	0,171	0,850	1,570	0,602
M%	-0,640	3,473	0,268	0,487	0,418	0,616	1,005	0,391
M%	1,416					0,810		

Tab. 32 Cristobalit mit Schaumgummiauskleidung, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	615	610	5420	9800	9905	8275	8245	8575
G	615	620	5425	9836	9928	8250	8395	8601
Dμ	0	10	5	36	23	- 25	150	26
D%	0,000	1,639	0,092	0,367	0,232	-0,303	0,181	0,303
W	670	595	5393	9865	9892	8190	8115	8600
G	665	595	5400	9835	9926	8375	8215	8570
Dμ	- 5	0	7	- 30	34	185	100	- 30
D%	-0,746	0,000	0,129	-0,304	0,344	2,258	1,232	-0,349
W	670	605	5375	9900	9865	7990	7900	8628
G	685	615	5385	9920	9900	8055	8095	8620
Dμ	15	10	10	20	35	65	195	- 8
D%	2,239	1,652	0,186	0,202	0,354	0,814	2,468	-0,093
M%	0,497	0,546	0,136	0,088	0,310	0,923	1,293	-0,046
M%	0,521					1,108		

Tab. 33 Cristobalit ohne Auskleidung, hygroskopisch, 700°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	675	603	5390	9885	9865	8132	8083	8607
G	645	570	5445	9977	9942	8390	8285	8762
Dμ	-30	-33	55	92	77	258	202	155
D%	-4,444	-5,472	1,020	1,035	0,781	3,172	2,499	1,801
W	700	615	5390	9940	9945	8265	8120	8625
G	700	605	5430	9940	9947	8295	8200	8635
Dμ	0	-10	40	0	2	30	80	10
D%	0,000	-1,626	0,742	0,000	0,020	0,362	0,985	0,115
W	665	583	5415	9880	9895	8535	8403	8632
G	625	605	5400	9975	10005	8680	8570	8745
Dμ	-40	22	- 15	95	110	145	167	113
D%	-6,015	3,773	-0,277	0,961	1,111	1,698	1,939	1,309
M%	-3,486	-1,108	0,495	0,665	0,637	1,744	1,807	1,075
M%	-2,287					1,775		

Tab. 34 Cristobalit mit Asbestauskleidung, 700°C hygroskopisch

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	615	575	5480	9840	9915	8282	8180	8650
G	607	565	5570	9980	9985	8495	8455	8808
Dμ	- 8	-10	90	140	70	213	275	158
D%	-1,301	-1,739	1,642	1,423	0,706	2,571	3,362	1,826
W	620	630	5407	9940	9915	8388	8195	8690
G	590	600	5405	9967	9955	8640	8510	8777
Dμ	-30	-30	- 2	27	40	252	315	87
D%	-4,839	-4,762	-0,037	0,271	0,403	3,004	3,844	0,894
W	635	595	5385	9920	9862	8285	8210	8690
G	615	580	5392	10010	10020	8475	8475	8815
Dμ	-20	-15	7	90	158	190	265	125
D%	-3,149	-2,521	0,130	0,907	1,602	2,293	3,228	1,438
M%	-3,096	-3,007	0,578	0,867	0,903	2,622	3,478	1,386
M%	-3,066					3,050		

Tab. 35 Cristobalit mit Schaumgummiauskleidung, 700°C hygroskopisch

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	632	621	5403	9858	9908	8012	8002	8605
G	620	587	5400	9882	9820	7953	7988	8675
Dμ	-12	-34	- 3	24	- 88	- 59	- 14	70
D%	-1,898	-5,475	-0,055	0,243	-0,888	-0,736	-0,174	0,813
W	633	589	5416	9866	9817	8222	8187	8644
G	596	580	5425	9891	9780	8225	8195	8715
Dμ	-37	- 9	9	25	- 37	3	8	61
D%	-5,845	-1,528	0,166	0,253	-0,376	0,036	0,098	0,705
W	673	605	5395	9825	9897	8212	8127	8547
G	670	598	5402	9841	9887	8192	8133	8573
Dμ	- 3	- 7	7	16	- 10	- 20	- 6	26
D%	-0,445	-1,157	0,129	0,162	-0,101	-0,243	-0,738	0,304
M%	-2,729	-2,720	0,080	0,223	-0,455	-0,314	-0,336	0,607
M%	-2,724					-0,216		

Tab. 36 Cristobalit ohne Auskleidung, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	620	643	5385	9877	9925	8331	8192	9877
G	600	617	5390	9945	9942	8535	8348	9945
Dμ	-20	-26	5	78	17	204	156	114
D%	-3,226	-4,043	0,093	0,789	0,180	2,449	1,904	1,154
W	620	595	5420	9882	9905	8253	8163	9882
G	600	578	5475	9942	9893	8358	8213	9942
Dμ	-18	-17	55	60	- 12	105	50	97
D%	-2,903	-2,857	1,015	0,607	-0,121	1,272	0,612	0,992
W	625	572	5412	9900	9812	8077	8055	9900
G	565	490	5414	9974	9837	8193	8172	9974
Dμ	-60	-82	2	74	25	116	117	98
D%	-9,600	-14,335	0,037	0,747	0,254	1,436	1,452	0,989
M%	-3,064	-3,450	0,381	0,714	0,104	1,719	1,322	1,045
M%	-3,255					1,520		

Tab. 37 Cristobalit mit Asbestauskleidung, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	610	600	5503	9817	9903	8237	8155	8707
G	595	575	5512	9967	9918	8287	8197	8797
Dμ	-15	-25	9	150	15	50	42	90
D%	-2,459	-4,167	0,161	1,527	0,151	0,607	0,515	1,033
W	635	540	5392	9935	9897	8125	8090	8760
G	595	492	5404	9965	9905	8303	8257	8878
Dμ	-40	-48	12	30	8	178	153	118
D%	-6,299	-8,889	0,222	0,301	0,081	2,190	1,891	1,347
W	630	585	5405	9950	9900	8085	8037	8735
G	580	542	5420	9947	9892	8171	8105	8825
Dμ	-50	-43	15	- 3	- 8	86	68	90
D%	-7,936	-7,350	0,277	-0,030	-0,081	1,063	0,846	1,030
M%	-5,564	-6,802	0,220	0,599	0,050	1,286	1,084	1,135
M%	-6,183					1,185		

Tab. 38 Cristobalit mit Schaumgummiauskleidung, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	615	610	5407	9897	9867	8175	8125	8672
G	582	580	5375	9906	9855	8293	8263	8744
Dμ	-33	-30	- 32	9	- 12	118	138	72
D%	-5,365	-4,918	-0,591	0,091	-0,121	1,443	1,698	0,830
W	635	600	5395	9860	9850	8137	8072	8625
G	615	573	5405	9868	9850	8262	8185	8680
Dμ	-20	-27	10	8	0	125	113	55
D%	-3,149	-4,500	0,185	0,081	0,000	1,536	1,399	0,637
W	675	515	5422	9865	9887	8087	8012	8675
G	665	510	5475	9889	9852	8170	8100	8714
Dμ	-10	- 5	53	24	- 35	83	88	39
D%	-1,481	-0,971	0,977	0,243	-0,354	1,026	1,098	0,396
M%	-3,331	-3,463	0,190	0,138	-0,158	1,335	1,398	0,621
M%	-3,397					1,366		

Tab. 39 Cristobalit ohne Auskleidung, hygroskopisch, 480°C

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	610	560	5503	9915	9870	8105	8020	8745
G	575	525	5535	9937	9890	8180	8115	8837
Dμ	-35	-35	32	22	20	75	95	92
D%	-5,738	-6,250	0,581	0,221	0,203	0,925	1,185	1,052
W	670	650	5385	9863	9915	8117	8071	8543
G	630	620	5448	10027	9941	8357	8270	8777
Dμ	-40	-30	63	164	26	240	201	234
D%	-5,971	-4,615	1,169	1,663	0,262	2,956	2,490	2,750
W	675	525	5530	9857	9904	8200	8075	8657
G	665	520	5550	9960	9927	8330	8200	8775
Dμ	-10	- 5	20	103	23	130	125	118
D%	-1,481	-0,952	0,362	1,044	0,232	1,585	1,547	1,363
M%	-4,396	-3,939	0,704	0,976	0,232	1,822	1,740	1,722
M%	-4,167					1,781		

Tab. 40 Cristobalit mit Asbestauskleidung, 480°C hygroskopisch

Str	1	2	3	4	5	6	7	8
W	630	527	5447	9893	9855	8181	8082	8736
G	597	515	5467	9958	9945	8267	8183	8846
Dμ	-33	-12	20	65	90	74	101	110
D%	-5,238	-2,277	0,367	0,657	0,913	0,904	1,249	1,259
W	680	615	5371	9835	9905	7995	7895	8540
G	655	562	5495	10042	9937	8245	8130	8825
Dμ	-25	-53	124	207	32	250	235	285
D%	-3,676	-8,617	2,309	2,104	0,323	3,126	2,976	3,337
W	675	610	5490	9925	9885	8065	7950	8640
G	650	590	5475	9995	9895	8260	8191	8755
Dμ	-25	-20	- 15	70	10	195	141	115
D%	-3,703	-3,279	-0,273	0,705	0,101	2,417	1,774	1,331
M%	-4,205	-4,724	0,801	1,155	0,445	2,149	1,999	1,975
M%	-4,464					2,074		

Tab. 41 Cristobalit mit Schaumgummiauskleidung, 480°C hygroskopisch

V. Auswertung der Versuchsergebnisse

A. Abbinde- bzw. hygroskopische Expansion

Ein Vergleich der unter verschiedenen Bedingungen gemessenen Kaltexpansion ergibt:

1. Die Größe der Abbindeexpansion bzw. die der hygroskopischen hängt von der Art der Muffelauskleidung ab. Ein starrer Gußring hemmt die Ausdehnung der sich versteifenden Einbettmasse. Die Werte dieser Expansion liegen um etwa ein Drittel niedriger als bei den mit Schaumgummi ausgekleideten Gußringen (Tab. 42):

Methode (s.S.25)	Kaltexpansion (%lin.)		
	E 316	Beauty-Cast	Cristobalit
I	0,569	0,776	1,004
III	0,976	1,416	2,062
IV	1,571	1,817	2,157
VI	2,314	2,890	3,203

Tab. 42

2. Bei Einlage eines nassen Asbeststreifens in die Muffel wird ein zusätzlicher hygroskopischer Effekt erzielt.

3. Schaumgummi als Auskleidung ermöglicht bei der Warmwasserbadeinbettung größte Abbindeexpansion der Einbettmasse (Tab. 43). E 316 Universal als nichthygroskopisch gedachte Einbettmasse zeigt hierbei eine Ausnahme.

Die große hygroskopische Expansion bei Verwendung von Schaumgummi kann auf die im Kontakt mit Wasser befindliche, vergrößerte Oberfläche der Einbettungsmasse durch die poröse Schaumgummistruktur zurückgeführt werden.

Methode (s.S.25)	Kaltexpansion (%lin.)		
	E 316	Beauty-Cast	Cristobalit
I	0,569	0,776	1,004
II	1,272	2,132	2,419
III	0,976	1,416	2,062
IV	1,571	1,817	2,157
V	2,997	2,422	2,819
VI	2,314	2,890	3,203

Tab. 43

4. Für die Wasserbadeinbettung bestimmte Einbettmassen expandieren stärker als sog. nichthygroskopische Massen (vergl. Tab. 43). Das bestätigt die Angaben von LANDGREN (54), dem zufolge Einbettmassen, die speziell für die hygroskopische Methode hergestellt werden, bessere Gesamtresultate zeigen als diejenigen, die im Hinblick auf die thermische Ausdehnung zusammengestellt werden.

5. Die von den Firmen angegebene Größe der Kaltexpansion ist nach dieser Versuchsanordnung nicht reproduzierbar. Die gemessenen Werte sowohl der Abbindeexpansion als auch der hygroskopischen Expansion liegen wesentlich über den von den Herstellern angegebenen Werten.

B. Thermische Expansion

1. Verlauf der Expansionskurven: Die Kurvencharakteristik für die Einbettmasse E 316 Universal zeigt einen über die ganze Kurvenlänge verlaufenden kleinen Anstiegswinkel. Nur im Bereich zwischen 480°C und 590°C beträgt die Steilheit der Kurve ca. 50°. Sie hat in diesem Bereich also den gleichen Anstiegswinkel wie die Temperaturkurve der Einbettmasse Beauty-Cast. Diese zeigt in ihren Werten

von 20°C bis 490°C den gleichmäßigsten Verlauf aller gemessenen Expansionskurven. - Die Einbettmasse Cristobalit zeigt zwischen 220°C und 320°C eine sehr starke Expansionszunahme, erreicht bei 340°C ihren höchsten thermischen Wert und kontrahiert bis 700°C geringgradig. Sie hat also im Vergleich zu den anderen beiden gemessenen Einbettmassen unterschiedliche Kurvencharakteristik. Der Gipfel der Expansion bei 340°C ist bei den anderen beiden Einbettmassen nicht vorhanden. Bei diesen liegt die höchste Expansion jenseits von 550°C. Die absoluten Werte der Expansion sind direkt den Diagrammen 1 bis 3, S.37 ff zu entnehmen.

2. Größe der Expansionswerte: Die vom Hersteller angegebenen Expansionswerte werden in keinem Fall erreicht (Tab. 44):

Therm.Expansion (%lin.)	E 316	Beauty-Cast	Cristobalit
Hersteller 480°C	0,43	0,55	ohne Angabe
Messwert 480°C	0,26	0,46	0,96
Hersteller 700°C	0,80	1,20	1,25
Messwert 700°C	0,53	0,97	0,92

Tab. 44

Nichthygroskopisch behandelte Einbettmasseproben zeigen eine etwas größere thermische Expansion als die der Warmwasserbad-Einbettung. Lediglich bei der cristobalithaltigen Einbettmasse ist eine leicht verminderte Warmexpansion zu erkennen (Tab. 45):

Therm.Expansion (%lin.)	Methode (s.S. 25) I	II	III	IV	V	VI
E 316 Universal 480°C	0,26	0,20	0,22	0,24	0,24	0,23
700°C	0,53	0,34	0,47	0,50	0,50	0,48
Beauty-Cast 480°C	0,45	0,44	0,43	0,46	0,39	0,42
700°C	0,96	0,94	0,97	0,90	0,92	0,86
Cristobalit 480°C	0,45	0,44	0,43	0,46	0,39	0,42
700°C	0,83	0,92	0,79	0,82	0,66	0,63

Tab. 45

C. Modellversuch

Die Auswertung der Güsse erfolgte so, daß das Gußobjekt an den Meßstrecken 3, 4 und 8 (Abb. 4) mindestens eine Expansion von 20 - 50μ im Vergleich zum Wachsmodell aufweisen mußte. Erst unter dieser Bedingung kann ein Guß nach dem Zementieren Paßform zeigen. Die Strecken 6 und 7 dürfen keine Kontraktion aufweisen. In der Praxis würden mehr Inlays Paßform zeigen, da durch eine oft teilweise erhebliche Expansion in vertikaler Dimension eine Verlängerung der Strecken 6 und 7 zustande kommt. So wird trotz Kontraktion im Bereich 3 bzw. 4 ein cervicaler Randschluß erreicht. Die Kontrolle des cervicalen Randschlusses durch Aufbringen des Gußobjektes auf seine Stahlausgangsform wurde nicht durchgeführt, da durch Gußperlen, Wachsverzerrung etc. eine exakte Prüfung der Paßform nicht gegeben ist.

Die Ergebnisse der Gußversuche seien im Folgenden zusammengestellt:

1. Die Strecken 1 und 2 (Abb. 4) können nicht berücksichtigt werden, da der Meßfehler der relativ kleinen Bezugsstrecke (etwa 600μ) zu groß ist. Die am Meßmikroskop ablesbare Genauigkeit ist $\pm$ 5μ; aus einer Differenz von $\pm$ 1μ resultiert bei dieser kleinen Entfernung ein prozentualer Fehler von 0,32 %lin.

2. Die normale Abbindeexpansion zusammen mit der thermischen Expansion (Methode I und III) reicht zum Ausgleich der festen Schwindung nicht aus (Ausnahme: Cristobalit, 700°C Muffeltemperatur, Tab. 30 und 32). Die nach Methode I hergestellten Güsse zeigen stärkere Kontraktion als die der Methode III. Dies rührt wahrscheinlich durch die zentral gerichtete Abbindedehnung her, die auftreten soll, wenn die Abbindeexpansion durch einen starren Gußring begrenzt wird (71). Eine Behinderung der thermischen Expansion war nicht gegeben, da der Guß ohne Muffel erfolgte.

3. Ein Vergleich der Strecken 4 und 5 (Abb. 4) zeigt Verbiegungen der freien Teile des Inlays an. Die geringste Distorsion bei allen Abbindemethoden der Einbettmasse liegen bei Verwendung von Cristobalit vor. Eine relative Verkleinerung der Strecke 4 braucht jedoch nicht ihre Ursache in einer Kompression der Wachsschenkel durch zentral gerichtete Kaltexpansion zu haben. Sie kann durch starke Metallkontraktion der schmalen Seiten hervorgerufen sein. Wenn auch die Strecke 8 verkleinert ist, liegt eine echte Kompression vor. Dies ist der Fall bei Beauty-Cast: 700°C - Methode I und IV. Ein Aufbiegen der Wachsschenkel liegt vor, wenn die Strecke 4 größer als 5 bei gleichzeitiger Vergrößerung der Strecke 8 ist (E 316: 700°C - Methoden II, V und VI; Beauty-Cast: 700°C - Methoden II, V und VI; Cristobalit: 700°C - Methoden II, III und V).

4. Die Expansion in longitudinaler Richtung ist wesentlich größer als die in horizontaler und nimmt mit hygroskopischer Behandlung der Einbettmasse zu (Vergleich der

Strecken 5 und 6/7).

5. Passende Güsse bei Verwendung von E 316 und Beauty-Cast werden nur bei Methode V und VI (bei 700°C Muffeltemperatur)gewonnen, wobei jedoch durch die hygroskopische Behandlung die beiden Wachsschenkel auseinandergewichen sind. Mit Cristobalit hergestellte Güsse der Methoden II, III, V und VI bei einer auf 700°C vorgewärmten Muffel zeigen Paßform. Die geringsten Verzerrungen sind bei der Einbettungsart III zu bemerken. Die erforderliche Spaltbreite von 30 - 40 für das Befestigungszement (27, 44, 109) sind gegeben.

6. Cristobalit ist zum Guß ohne Muffel schlecht geeignet. Mehrere Einbettmassezylinder rissen beim Vorwärmen, da diese Einbettmasse im Temperaturbereich zwischen 220°C und 320°C in kurzer Zeit sehr stark expandiert.

7. Bei denen durch Guß in die kalte Muffel (480°C) hergestellten Inlayformen passen rechnerisch nur die der Cristobalitmasse bei Anwendung der Methoden II, III, IV, V und VI. Hervorzuheben ist die starke Veränderung der approximalen Schenkel (Kontraktion). - Der Guß in eine 480°C erwärmte Form zeigt erheblich vergrößerte feste Schwindung und sollte deshalb nicht zur Anwendung kommen, zumal bei dieser Gußart kein homogenes, feinkristallines Legierungsgefüge entsteht (5). Die bei cristobalithaltigen Einbettmassen zu erwartende Expansionssteigerung infolge einer größeren thermischen Expansion bei 480°C ist nur bei den Meßstrecken 4 und 8 zu erkennen (Tab. 46):

Meßstrecke	Methode I	II	III	IV	V	VI
4 - 480°C	0,223	0,714	0,599	0,138	0,976	1,155
- 700°C	o,177	0,640	0,487	0,088	0,665	0,867
8 - 480°C	0,607	1,045	1,135	0,621	1,722	1,975
- 700°C	-0,017	0,815	0,391	-0,046	1,075	1,386

Tab. 46 Die Zahlenwerte geben die Expansion in %lin. an

An den anderen Meßstellen ist kaum, auch bei Verwendung anderer Einbettmassen, eine Parallelität zum heißen Guß

festzustellen.

D. Vergleich der Expansionsergebnisse mit denen der Gußversuche

Die in Kapitel IV. A. ermittelten Werte der Kaltexpansion stimmen nur ungefähr mit denen der Gußversuche überein. Die hygroskopische Expansion von Cristobalit z.B. erreicht bei der Methode VI einen Wert von 3,2 %lin. Die thermische Expansion betrug 0,6 %lin. bei 700°C. Damit ist eine theoretische Gesamtexpansion von 3,8 %lin. gegeben. Im Gußversuch müßte demnach eine Überkompensation der Metallkontraktion (Degulor M: 1,5 %lin.) der einzelnen Meßstrecken deutlich werden. Die gemessenen Werte der einzelnen Strecken zeigen dagegen unterschiedliche Werte. Während die Strecken 4 und 5 eine effektive Vergrößerung von etwa 0,9 %lin. aufweisen, beträgt die Überkompensation der Strecken 6 und 7 hingegen 3,0 %lin. Die starke Verlängerung dieser Strecken könnte in einer Spaltbildung zwischen Einbettmasse und Wachsform zu suchen sein, die durch Absinken der Einbettmasse erfolgt, zu einem Zeitpunkt, in dem sich die Einbettmasse verfestigt und nicht mehr fließfähig genug ist, diesen Hohlraum auszufüllen (vergl. S.24, Abs.5). Die gemessenen Kaltexpansionswerte stellen lediglich eine relative Größe dar.

Die Ausmessung der in einer 480°C vorgewärmten Muffel hergestellten Güsse ergaben wesentlich andere Werte, als die entsprechende Ausmessung der Gußobjekte mit einer Vorwärmtemperatur von 700°C. Daher zeigt sich, daß die bei der Temperatur von 480°C gemessene größere thermische Expansion einer cristobalithaltigen Einbettmasse (vergl. Kap.V. B.) keine praktische Auswirkung auf die Dimensionen des Gußobjektes besitzt.

VI. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Abbindeexpansion von drei Einbettmassen und deren hygroskopische und thermische Expansion gemessen. Die Theorien der Kaltexpansion wurden gegenübergestellt. Die Messung der Abbinde- und hygroskopischen Expansion erfolgte vertikal in einer vom Verfasser entwickelten Versuchsanordnung. Die Abhängigkeit der Kaltexpansion von der Auskleidung des Gußringes wurde untersucht. Diese Ergebnisse werden mit denen praktischer Gußversuche an einer komplizierten Wachsform verglichen. Der Guß in die 'kalte Form' wird untersucht und diskutiert.

Die Versuchsergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Die Kaltexpansion hängt von der Auskleidung des Gußringes ab. Je geringer die Behinderung der erhärtenden Einbettmasse ist, eine um so größere Abbinde- bzw. hygroskopische Expansion resultiert.

2. Die Einlage eines feuchten Asbeststreifens in die Muffel führt zu einer zusätzlichen hygroskopischen Expansion der abbindenden Einbettmasse.

3. Die für die hygroskopische Einbettungsmethode hergestellten Einbettmassen zeigen eine größere hygroskopische Expansion als diejenigen, die in Hinsicht auf die thermische Expansion zusammengestellt werden.

4. Die Kaltexpansion bei den in dieser Arbeit angewandten Einbettmethoden ist in longitudinaler Richtung größer als in radialer.

5. Nichthygroskopisch behandelte Einbettmasseproben zeigen eine etwas größere thermische Expansion als die der Warmwasserbad-Einbettung.

6. Die vom Hersteller angegebenen Werte der Einbettmassenexpansion stimmen in ihrer absoluten Größe nicht mit denen in vorliegender Arbeit ermittelten überein.

7. Die ermittelten Gesamtexpansionswerte der Einbettmas-

sen E 316 Universal und Beauty-Cast reichen unter normalen, nichthygroskopischen Abbindebedingungen zum Ausgleich der festen Schwindung der Metall-Legierungen nicht aus.

8. Hygroskopisch eingebettete Wachsformen erleiden durch die Abbindeexpansion der Einbettmasse eine ungleich größere Distorsion, als dies unter nichthygroskopischen Bedingungen der Fall ist.

9. Die Ausmessung der Güsse ergab, daß die experimentell ermittelten Kaltexpansionswerte lediglich eine relative Größe darstellen.

10. Die Versuchsergebnisse lassen die Schlußfolgerung zu, daß die thermischen Expansionseigenschaften einer Einbettmasse verbessert und ihre Kaltexpansion niedrig gehalten werden sollen.

11. Der Guß in die 'kalte Form' (Vorwärmen der Gußmuffeln auf nur 480°C) ist abzulehnen.

VI. Literaturverzeichnis

1. American Dental Association
Guide to dental materials
Third edetion 1964

2. Appel, E.
Über Expansion und Kontraktion von Goldlegierungen und ihren Ausgleich beim Guß durch entsprechende Maßnahmen
Med. Diss. München 1938

3. Asgarzadeh, K., Mahler, D.B. and Peyton, F.A.
The behavior and measurement of hygroscopic expansion of dental casting investment
J. Dent. Res. 33, 519, 1954

4. Beeck, K.H.
Wissenswertes über die Metallverarbeitung unter besonderer Berücksichtigung des Gußproblems
Zahnärztl. Welt, Konstanz 9, 686, 1954

5. Beeck, K.H.
Prüfungsergebnisse zahnarztlicher Gußverfahren und ihre praktische Auswertung
Deutsch. Zahnärztl. Z., 8, 470, 1958

6. Boitel, R.H.
Gold-Inlays
Deutsch. Zahnärztl. Z. 19, 700, 1964

7. Bonsack, Ch.
Der heutige Stand des Gußproblems
Deutsch. Zahnärztl. Z. 8, 5, 1953

8. Bonsack, Ch.
Der heutige Stand des Gußproblems
Deutsch. Zahnärztl. Z. 8, 67, 1953

9. Buck, W.
Über die Kompensation der Kontraktion bei Metallgüssen durch verschiedene Einbettungsmethoden
Med. Diss. München 1951

10. Coleman, R.L.
Physical properties of dental materials (gold alloys and accesory materials)
Res. Paper No. 32. J. Research NBS 1, 867, 1928

11. Coy, H.D.
An application of recent developments in inlay casting
J. Amer. Dent. Ass. 20, 212, 1933

12. Coy, H.D.
Casting procedures in dentistry
Int. Dent. Journ. 5, 175, 1955

13. Degni, F.
Study of hygroscopic expansion, thesis
Northwestern University School, 1946

14. Delgado, V.P. and Peyton, F.A.
The hygroscopic setting expansion of a dental casting investment
J. Prosth. Dent. 3, 423, 1953

15. Deutgen, A.
Comparison of the physical properties of seventeen zinc phosphate cements obtainable in Sweden
Svensk Tandlak. T. 42, 5, 1949

16. Diana, Hs.
Dilatometer-Versuche zur Bestimmung des thermischen Verhaltens von Einbettungsmassen für den Goldguß
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 74, 940, 1964

17. Docking, A.R., Chong, M.P. and Donnison, J.A.
The hygroscopic setting expansion of dental casting investments
Austr. Dent. J. 52, 160, 1948

18. Docking, A.R., Chong, M.P. and Donnison, J.A.
The hygroscopic setting expansion of dental casting investments
Austr. Dent. J. 53, 261, 1949

19. Docking, A.R. and Chong, M.P.
Hygroscopic expansion
Austr. Dent. J. 54, 103, 1950

20. Eichner, K. u.a.
Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitung
Berlin 1967

21. Endell, K. und Hofmann, U.
Über vergleichende röntgenoptische und dilatometrische Untersuchungen an Einbettmassen
Zahnärztl. Rundsch. 37, 1478, 1934

22. Fabian, H.
Metall- oder Papierzylinder?
Zahnärztl. Rundsch. 28, 1198, 1930

23. Feinmann, P.B.
Zahnärztliche Einbettungsmethoden und Gußprobleme
(50 Jahre seit W.H. Taggart)
Med. Diss. Düsseldorf 1958

24. Finkbeiner, K.
Der Einfluß unterschiedlicher Behandlung der Einbettmasse auf das Endmaß des Gußstückes
Med. Diss. Heidelberg 1964

25. Flaumenhaft, E.
Kritische Betrachtung über das Gußproblem in der Zahnheilkunde
Med. Diss. Köln 1959

26. Fusayama, T.
Proposition of a theory on the mechanism of the hygroscopic expansion of gypsum products
Bull. Tokyo Med. Dent. Univ. 4, 225, 1957

27. Fusayama, T.
Factors and technique of precision casting
J. Prosth. Dent. 9, 468/486/1037, 1959

28. Gerlach, H.P.
Über die Kompensation von Kontraktionserscheinungen im Metallgußverfahren
Zahnärztl. Rundsch. 51, 2130, 1932

29. Gerlach, H.P.
Die Beeinflussung des thermischen Volumenverhaltens von Gips-Quarzgemischen im zahnärztlichen Gußverfahren
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 20, 467, 1933

30. Gerlach, H.P.
Wieweit können die Kälteexpansion der Einbettmasse und die Wachsexpansion das Gußresultat beeinflussen?
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 31, 467/746, 1933

31. Gerlach, H.P.
Eine Kritik der experimentellen Prüfungsmethoden beim Gußversuch
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 22, 511, 1934

32. Gerlach, H.P.
Thermo-volumetrische Untersuchungen an Einbettmassen im zahnärztlichen Gußverfahren
Leipzig 1935

33. Goldberg, M.A.
Changes of materials and the technic of casting with regard to accurate compensation
ADA Inl. 24, 1292, 1937

34. Han Siong, D.
Experimentelle Untersuchungen zur weiteren Klärung des Gußproblems
Deutsch. Mschr. Zahnheilk. 28, 529, 1930

35. Harndt, E.
Die Gußfüllung
Sammlung Meusser, Heft 37, Leipzig 1953

36. Hehring, H.
Die prozentualen linearen Veränderungen eines Palliaggusses in Abhängigkeit von verschiedenen Einbettungsmethoden
Med. Diss. Berlin 1955

37. Hehring, H.
Die Oberflächen-Rauhigkeit eines Palliaggusses
Dtsch. Zahn. Mund. Kieferheilk. 27, 115, 1957

38. Hehring, H.
Über die Auswirkung der Abbindeexpansion von Einbettmassen auf die Paßgenauigkeit zahnärztlicher Gußobjekte
Deutsch. zahnärztl. Z. 22, 1344, 1967

39. Höfer, G.
Über das Volumenverhalten einiger zahnärztlicher Einbettmassen unter Berücksichtigung der hygroskopischen Expansion nach Scheu
Med. Diss. Leipzig 1957

40. Hollenback, G.M.
Simple technique for accurate castings: New and original method of vacuum investing
J. Amer. Dent. Ass. 36, 391, 1948

41. Holst, K.
Unbeabsichtigte hygroskopische Expansion von Gips und Einbettungsmassen
Acta Odont. Scand. 20, 197, 1962

42. Ilg, V.K.
Die physikalischen Eigenschaften der bei der indirekten Technik verarbeiteten Materialien, ihre kritische Untersuchung und ihre Eignung zur Errechnung der Volumenkonstanz
Zahnärztl. Rundsch. 49, 99/134, 1940

43. Jacob, W.
Die Expansion und Kontraktion der Palladium-Silber- und der Spargold-Legierungen nebst praktischen Gußversuchen zum Ausgleich der Kontraktion beim Gußverfahren
Med. Diss. Tübingen 1939

44. Joergensen, D.K.
Untersuchungen über die zahnärztliche Präzisionsgußtechnik
Sartryck ur Göteborgs Tandläkare - Sällskaps Arsbok 1953

45. Joergensen, D.K.
Studies on the setting of plaster of Paris
Odont. Tidskr. 61, 305, 1953

46. Joergensen, D.K.
Prüfungsverfahren zahnärztlicher Gußverfahren
Deutsch. zahnärztl. Z. 8, 461, 1958

47. Joergensen, D.K.
Study of the setting expansion of Gypsum
Acta Odont. Scand, 21, 227, 1963

48. Kantake, T., Oyama, K. and Hasegawa, T.
On the hygroscopic expansion of dental investment
The Shikawa Gakuho 55, 247, 1955

49. Klose, W.
Untersuchungen über die linearen Veränderungen von Brükken, die im Einstückguß-Verfahren hergestellt werden
Med. Diss. Berlin 1966

50. Klumpp, D.
Einfluß des Muffelwerkstoffes auf die Paßgenauigkeit zahnärztlicher Güsse
Med. Diss. Mainz 1959

51. Kracek, F.C.
Phase transformation in one component silicate systems in phase transformation of solides
New York, John Wiley and Sons, 1951

52. Krause, W.
Das Gußproblem
Zahnärztl. Welt 9, 217, 1954

53. Kräutle, L.
Die Auswirkung der Abbindeexpansion von Einbettmassen auf das Wachsmodell
Med. Diss. Berlin 1960

54. Landgren, N. and Peyton, F.A.
Hygroscopic expansion of some casting investments
J. Dent. Res. 29, 469, 1950

55. Langer, A.
Problem der einwandfreien Herstellung der MOD-Gußfüllung
Med. Diss. München 1948

56. Lewald, T.
Die Herstellung von Inlays nach der neuen Kerr-Gußmethode
Deutsch. zahnärztl. Wschr. 17, 966, 1931

57. Lefkowits, D.
Ist eine Verbesserung und Vereinfachung der Expansionsgußtechnik notwendig und möglich?
Zahnärztl. Rundsch. 9, 364, 1932

58. Lindblom, G.
Das Gußproblem in moderner Beleuchtung
Deutsch. Mschr. Zahnheilk. 50, 284/713, 1932

59. Lindermann, R.
Untersuchungen über Wege zur Erzielung größter Gußgenauigkeit in der Inlaytechnik
Med. Diss. Köln 1957

60. Lutz, W.
Volumenveränderungen von Wachs und Einbettungsmassen in bezug auf das Goldgußverfahren
Deutsch. zahnärztl. Wschr. 15, 913, 1932

61. Lyon, H.W., Dickson, G. and Schoonover, I.C.
Progress report on the mechanism of hygroscopic expansion in dental casting investments
NBS Report No. 2242, Febr. 1953

62. Lyon, H.W., Dickson, G. and Schoonover, I.C.
The mechanism of hygroscopic expansion in dental casting investments
J. Dent. Res. 34, 44, 1955

63. Mahler, D.B. and Moffitt, R.E.
Further evidence on the hygroscopic expansion of dental gypsum materials
J. Dent. Res. 37, 95, 1958

64. Mahler, D.B. and Ady, A.B.
The influence of various factors on the effective setting expansion of casting investments
J. Prosth. Dent. 13, 365, 1963

65. Maves, T.W.
Recent experiments demonstraiting wax distorsion on all waxpatterns when heat is applied
J. Amer. Dent. Ass. 19, 606, 1932

66. Moore, T.E.
US Patent 1'924'874, 1933

67. Moore, T.E.
Résumé of the expansion requiered to compensate for casting gold shrinkage
J. Prosth. Dent. 2, 550, 1952

68. Mumford, G. and Phillips, R.W.
Dimensional change in waxpatterns during setting of gypsum investments
J. Dent. Res. 37, 351, 1958

69. Narcisse, M.A.
Einbetten und Einbettungsmassen
Zahntechnik 4, 254, 1951

70. Nelke, J.
Untersuchungen über die physikalischen Eigenschaften von Gußwachsen und ihre Nutzanwendung für die zahnärztliche Gußtechnik
Med. Diss. Freiburg 1938

71. Oettinger, R.
Expansionstechnik zum Ausgleich der Restkontraktion der Goldlegierung beim Guß
Zahnärztl. Rundsch. 43, 99, 1934

72. Osborne, J. and Skinner, E.W.
Physical properties of gypsum model investments
J. Amer. Dent. Ass. 59, 708, 1959

73. Peyton, F.A., Asgars, K. and Mahler, D.B.
Hygroscopic technique for inlay casting using controlled water additions
J. Prosth. Dent. 5, 711, 1955

74. Phillips, D.W.
Controlled casting
J. Amer. Dent. Ass. 22, 439, 1935

75. Phillips, R.W. and Biggs, D.H.
Distorsion of wax patterns as influenced by storage time, storage temperature an temperature of wax manipulation
J. Amer. Dent. Ass. 41, 28, 1950

76. Pomes, C.H.
Die Oberflächenbeschaffenheit von Gußstücken
Zahntechnik, 4,39,1951

77. Prenz, D.
Untersuchungen über Veränderungen der Einbettungsmassen im Vacuum
Deutsch. Stomat. 4, 241, 1964

78. Price, W.A.
The laws determining the behavior of gold in fusing and casting
Dent. Cosmos 53, 265, 1911

79. Reither, W.
Neue Versuche zur Gußtechnik und ihre Auswertung
Deutsch. zahnärztl. Z. 20, 1252, 1965

80. Rice, W.S.
Der Formguß unter Anwendung eines Wassertauchbades als Kompensierungsmittel
Zahnärztl. Rundsch. 40, 2038, 1931

81. Rohrbach, H.
Über den Einfluß von Gußspannungen auf die Formabweichung zahnärztlicher Gußstücke
Med. Diss. Tübingen 1961

82. Ryge, G. and Fairhurst, C.W.
Hygroscopic expansion
J. Dent. Res. 34, 745, 1955

83. Ryge, G. and Fairhurst, C.W.
Hygroscopic expansion
J. Dent. Res. 35, 499, 1956

84. Schäffner, H.
Formveränderungen von Goldgüssen für die Zahnheilkunde in Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung mit besonderer Berücksichtigung der Vergütung
Deutsch. zahnärztl. Wschr. 25, 1165, 1931

85. Schoenfeld, E.W.
Das Gußverfahren für Goldeinlagefüllungen unter besonderer Berücksichtigung des Kerrschen Verfahrens
Zahnärztl. Rundsch. 40, 2062, 1931

86. Scheu, C.H.
A new precision casting technic
J. Amer. Dent. Ass. 19, 630, 1932

87. Scheu, C.H.
Precision casting utilizing the hygroscopic action of plaster in investment in making expanded molds
J. Amer. Dent. Ass. 20, 1205, 1933

88. Scheu, C.H.
Präzisionsguß unter Ausnutzung der in den Einbettmassen enthaltenen hygroskopischen Wirkungen des Gipses auf die Hohlform
Deutsch. zahnärztl. Wschr. 21, 493, 1934

89. Schubert, L.
Über Volumenänderungen von Einbettmassen
Deutsch. zahnärztl. Wschr. 22, 1194, 1932

90. Schubert, W.
Über den Verlauf und Umfang der Expansion zahntechnischer Formgipse während des Abbindevorganges unter besonderer Berücksichtigung des Volumenverhaltens bekannter in der DDR hergestellter Hart- und Halbhartgipse
Deutsch. Stomat. 8, 593, 1958

91. Schwindling, R.
Untersuchungen der Oberflächenstruktur von Metallgerüsten bei verschiedener Einbettungsart unter Vacuum
Zahnärztl. Rundsch. 18, 477, 1955

92. Shell, J.S.
The effect of longitudinal restrictive force on hygroscopic expansion
J. Dent. Res. 40, 287, 1961

93. Skinner, E.W.
The role of investment setting expansion in gold compensation casting technique
Dent. Cosmos 75, 1009, 1933

94. Skinner, E.W. and Degni, F.
Hygroscopic expansion of dental casting investments
J. Amer. Dent. Ass. 54, 603, 1957

95. Sodeau, W.H. and Gibson, G.S.
The use of plaster of paris as an impression material
Brit. Dent. Inl. 48, 1089, 1927

96. Solbrig, O.
Welche Faktoren bedingen die Formveränderungen in den zahnärztlichen Gußverfahren?
Vjschr. Zahnheilk. 38, 81, 1922

97. Spengler, K.J.
Herstellung von Inlay-Brücken im Einphasen-Gußsystem
Zahnärztl. Welt, Konstanz 5, 607, 1950

98. Suffert, L.W. and Mahler, D.B.
Reproducibility of gold castings made be present day dental casting technics
J. Amer. Dent. Ass. 50, 1, 1950

99. Taege, F.
Untersuchungen über thermische und hygroskopische Expansion von Einbettmassen
Deutsch. Stomat. 5, 619, 1955

100. Taege, F.
Untersuchungen über die hygroskopische Expansion von Einbettmassen
Deutsch. zahnärztl. Z. 13, 116, 1958

101. Taylor, N.O. and Paffenbarger, G.C.
A survey of current inlay casting technics
J. Amer. Dent. Ass. 17, 2058, 1930

102. Taylor, N.O., Paffenbarger, G.C. and Sweeney, W.T.
Dental inlay casting investments: physical properties and a specification
J. Amer. Dent. Ass. 17, 2266, 1930

103. van Horn, C.S.
Concerning casting methods
Dent. Cosmos 52, 873, 1910

104. Vita
Vita-VMK-Degudent-Technik
Ausgabe Juni 1965

105. Volland, R.H. and Paffenbarger, G.C.
Cast gold inlay technic
J. Amer. Dent. Ass. 19, 185, 1932

106. Wagner, E.
Die theoretischen Grundlagen der Vita-VMK-Degudent-Technik
Zahnärztl. Welt 66, 343, 1965

107. Watts, C.H.
A study of investment expansions requiered for gold inlay casting
Read for Dental Materials Group, JADR, 1946

108. Weikart, P.
Zum Thema des Präzisionsgusses
Zahnärztl. Welt, Konstanz 10, 490, 1955

109. Weikart, P.
Grenzen und Prüfung der Gußgenauigkeit
Deutsch. zahnärztl. Z. 12, 897, 1957

110. Weinstein, L.
US Patent 1'708'436, 1929

111. Weiß, J.
Über das Gießen von Goldeinlagen
Zeitschr. f. Stomat. 7, 1932

112. Wenzel, F.
Die Einbettungsmasse als Hauptfaktor des Gußproblems mit besonderer Berücksichtigung ihrer Volumenänderungen
Med. Diss. Göttingen 1926

113. Wilson, G.H.
Manual of prosthetic dentistry
Lea and Febiger Philadelphia 1920

114. Zähringer, W.
Guß- und Angußkronen
Med. Diss. München 1963

Meinem verehrten Lehrer Prof. Dr. H. Kirsten möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas meinen besonderen Dank sagen.

Herrn Dr. H. Hehring danke ich für die hilfreiche Unterstützung und die wertvollen Ratschläge.

L e b e n s l a u f

Am 12. Dezember 1940 wurde ich als Sohn des Zahnarztes Dr. Kurt Hönig und seiner Ehefrau Herta, geb. Ganss in Gera geboren.

1947 wurde ich eingeschult. Den Besuch der Oberschule wissenschaftlichen Zweiges in Gera beendete ich 1959 und siedelte im gleichen Jahr nach West-Berlin über. Hier legte ich 1960 die Ergänzungsprüfung zu dem Reifezeugnis aus Gera ab und wurde im Wintersemester 1960/61 an der Freien Universität Berlin zum Studium der Zahnheilkunde immatrikuliert. Im Sommersemester 1963 legte ich die zahnärztliche Vorprüfung ab. Die zahnärztliche Prüfung bestand ich im Juli 1966 vor dem Prüfungsausschuß in Berlin.